

Dt. 25

RIJKSFACULTEIT DER LANDBOUWWETENSCHAPPEN - GENT

LEERSTOEL LANDELIJKE GENIE

Afdeling Boerderijbouw

DE ACTUELE PROBLEMATIEK OMTRENT
DE KLIMAATREGELING VAN
LEGHENNENHOKKEN

door

M. DEBRUYCKERE

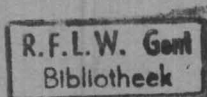
Proefschrift tot het bekomen van de graad
van Doctor in de Landbouwwetenschappen
op gezag van de Rector,

Prof. Dr. Ir. A.G. BAPTIST

Promotor :

Prorector Prof. Ir. K.L. PETIT

Gent 1967



Dt. 18

RIKSFACULTEIT DER LANDBOUWWETENSCHAPPEN - GENT

LEERSTOEL LANDELIJKE GENIE

Afdeling Boerderijbouw

DE ACTUELE PROBLEMATIEK OMTRENT DE KLIMAATREGELING VAN LEGHENNENHOKKEN

door

M. DEBRUYCKERE

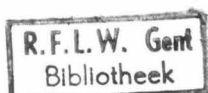
Proefschrift tot het bekomen van de graad
van Doctor in de Landbouwwetenschappen
op gezag van de Rector,

Prof. Dr. Ir. A.G. BAPTIST

Promotor :

Prorector Prof. Ir. K.L. PETIT

Gent 1967



W O O R D V O O R A F

Bij het neerleggen van deze dissertatie houd ik eraan mijn Promotor Ere-Rector Professor Ir. K.L. PETIT van harte te danken voor zijn waardevolle leiding en zijn nuttige raadgevingen, alsook voor zijn opbeurende aanmoediging, die ik steeds ten zeerste op prijs gesteld heb. Toen ik nog student was, heeft hij in mij een levendige belangstelling gewekt voor de boerderijbouw. Kort nadien, als assistent, werd ik dank zij hem in de gelegenheid gesteld gedurende twee maanden in Noorwegen en Zweden de problemen in verband met landelijke constructies te bestuderen.

In 1961 werd mij de gelegenheid geboden, met de belangrijke steun van het I.W.O.N.L. , een uitgebreid onderzoek aan te vatten over klimaatregeling in stallen. Mijn dankbetuiging gaat dan ook in het bijzonder naar de Heer HENRY, Directeur-Generaal, en naar de beheerraad van het I.W.O.N.L., zonder wiens financiële steun de oprichting van het "Centrum voor de Studie van het Stalklimaat" en tevens onderhavig onderzoek nooit tot stand zouden zijn gekomen.

Professor Dr. J. MARTIN heeft door zijn herhaalde belangstelling en zijn treffende raadgevingen zeer veel bijgedragen tot mijn vorming en mijn onderzoekswerk. Professor Ir. G.A. HEYNDRIKX was steeds bereid elk probleem op een uiterst nauwgezette wijze te helpen oplossen; mijn bijzondere erkentelijkheid gaat dan ook naar beide eminente hoogleraren.

Reeds kort na mijn studiën werd ik, dank zij mijn Promotor, in de gelegenheid gesteld contacten te leggen met Professor Dr. A. KÖSTLIN van het "Institut für landwirtschaftliche Bauforschung" te Braunschweig - Völkenrode. Nadien kreeg ik regelmatig de gelegenheid tot gedachtenwisseling en bespreking van mijn resultaten met deze buitenlandse geleerde; voor deze zeer gewaardeerde hulp ben ik hem zeer veel dank verschuldigd.

Professor Dr. A.E.R. WILLEMS wens ik in het bijzonder te vermelden voor zijn bemoedigende belangstelling en raad waarop ik steeds mocht rekenen. Ook op Professor Dr. P. MORTIER heb ik nooit vergeefs beroep gedaan.

Professor Dr. Ir. G. BOESMAN en de Heer Conservator GENIE waren ten alle tijde bereid mij met raad en daad bij te staan.

Tegenover mijn collega's druk ik hier eveneens mijn hartelijkste dank uit; de vruchtbare en aangename samenwerking met Ir. A. NICOLAUS heb ik steeds ten zeerste op prijs gesteld. Ir. G. NEUCKERMANS van "Centrum voor de Studie van het Stalklimaat" ben ik bijzonder dankbaar voor zijn toewijding en hulp.

De heer O. CURE heeft zich steeds ingespannen om met de gepaste regel- en meetapparatuur de waarnemingen mogelijk te maken.

Het personeel, dat instond voor de waarnemingen zelf, voor het typ- en het tekenwerk, wens ik evenzeer in mijn dankbetuiging te betrekken om hun geduld, toewijding en hulp.

I N H O U D

H O O F D S T U K I

blz

MOTIVERING VAN HET ONDERZOEK

1.1. ALGEMENE PROBLEEMSTELLING	1
1.2. HET BELANG VAN DE KLIMAATREGELING VOOR DE CYCLISCHE SPREIDING VAN DE LEGKUIKENOPFOK	2
1.3. GLOBALE PRODUCTIEVERLIEZEN IN DE PLUIMVEESECTOR	4
1.3.1. Studie van de beschikbare gegevens	4
1.3.2. Bespreking van de resultaten	7
1.3.3. Gevolgtrekkingen en besluiten	9
1.4. VERLIEZEN DOOR ZIEKTE EN STERFTE	9

H O O F D S T U K II

WARMTE- EN VOCHTBALANS GEDURENDE DE WINTER IN LEGHENNENHOKKEN MET BODEMSTROOISEL

2.1. OMSCHRIJVING VAN HET GEWENSTE MICROKLIMAAT IN LEGHENNENHOKKEN	12
2.1.1. Inventaris van de bijzonderste klimaatsfactoren	12
2.1.2. Belang van verschillende klimaatsfactoren en omschrijving van een optimaal microklimaat	15
2.1.2.1. Luchttemperatuur (t), relatieve luchtvochtigheid (R.V.) en luchtsnelheid (L.S.)	17
2.1.2.2. Scheikundige samenstelling van de lucht	20
2.1.2.3. Vochtgehalte bodemstrooisel	23
2.1.3. Besluiten	24
2.2. OORZAKEN EN GEVOLGEN VAN HET NIET HARMONIEREN VAN DE WARMTE- EN VOCHTBALANS IN PLUIMVEEHOKKEN MET BODEMSTROOISEL	24
2.3. DE BEREKENING VAN DE WARMTE- EN VOCHTBALANS	30
2.3.1. Warmtebalans	30
2.3.2. Vochtbalans	33
2.3.3. Enkele conclusies	38
2.4. BESCHRIJVING VAN DE VOORNAAMSTE ONDERZOCHE LEGPLUIMVEEHOKKEN	39

H O O F D S T U K III

DE PROBLEMATIEK VAN DE WINTERVENTILATIE

3.1. FUNDAMENTELE AERODYNAMISCHE ASPECTEN	46
3.1.1. Luchtinlaatopeningen	47
3.1.2. Luchtafvoeropeningen en ventilatoren	57
3.1.3. Ventilatieregelapparatuur	62
3.2. EXPERIMENTEEL ONDERZOEK	62
3.2.1. Grondregels en methodiek voor de studie van het ventilatiepatroon	64
3.2.2. Het ventilatiepatroon in de hokken met gleufvormige inlaatopeningen (initiale toestand)	72
3.2.2.1. Oriënterende voorstudie van het ventilatiepatroon op kleinmodel	72
3.2.2.2. Studie van het ventilatiepatroon door opname van L.S.	73
3.2.2.3. Studie van het ventilatiepatroon door temperatuurwaarnemingen	77
3.2.2.4. Controle en bevestiging van het gevonden ventilatiepatroon door middel van rooktesten	88
3.2.2.5. Besluiten	88
3.2.3. Het ventilatiepatroon in hokken met verbeterde inlaatopeningen (gerichte luchtstroming)	93
3.2.3.1. Oriënterende voorstudie van het ventilatiepatroon op kleinmodel	96
3.2.3.2. Studie van het ventilatiepatroon door opname van L.S.	99
3.2.3.3. Studie van het ventilatiepatroon door temperatuurwaarnemingen	101
3.2.3.4. Controle en bevestiging van het gevonden ventilatiepatroon door middel van rooktesten	113
3.2.3.5. Besluiten	117
3.2.4. Richten van de luchtstroom door overdrukventilatie	118
3.2.5. De gelijkmatige afzuiging van de stallucht	120
3.2.6. Studie van het evaporatiepatroon in de verblijfszone van de dieren, als functie van ventilatie en eventuele bijverwarming	128
3.2.6.1. Waarnemingen en interpretatie	130
3.2.6.2. Bespreking van de resultaten	141
3.2.6.3. Besluiten	145

H O O F D S T U K I V

VERDERE ANALYSE VAN HET MICROKLIMAAT IN DE ONDERZOCHE PLUIMVEEHOKKEN

4.1. DE KLASSIEKE METHODE VOOR HET BEPALEN VAN DE TEMPERATUURTOESTAND VAN EEN LOKAAL	146
4.1.1. Waarnemingen en discussie	149
4.1.1.1. Waarnemingen	149
4.1.1.2. Discussie van deze klassieke methode voor het opmeten van het thermisch klimaat in de hokken	156
4.1.2. Besluiten	158
4.2. LUCHTVOCHTGEHALTE	159
4.2.1. Het verloop van de relatieve luchtvochtigheid in een punt in functie van de tijd	161
4.2.2. Het verloop van de absolute vochtigheid van de lucht in een punt in functie van de tijd	166
4.2.3. Besluiten	167
4.3. STOF EN STALGASSEN	168
4.3.1. Stof	168
4.3.2. Stalgassen	172
4.3.3. Besluiten	179
SAMENVATTING	180
BIBLIOGRAFIE	192
GERAADPLEEGDE WERKEN	198

H O O F D S T U K I

M O T I V E R I N G V A N H E T O N D E R Z O E K

1.1. ALGEMENE PROBLEEMSTELLING

Het houden van leghennen in een kunstmatig hokklimaat was tot vóór 1960 vrij beperkt.

Het werd zelfs noodzakelijk geacht bij voldoende gunstige weersomstandigheden de dieren steeds toegang te verlenen tot een buitenbeloop.

Deze handelwijze verloor sedertdien nagenoeg alle belangstelling: de hennen worden nu op de rationele bedrijven vanaf de geboorte tot het einde van de legcyclus binnen het hok gehouden.

Het hoge productiepeil, dank zij de ver-doorgedreven selectie, maakt de dieren echter meer gevoelig voor allerlei stress-factoren en ziekteverschijnselen. De geïmponeerde onnatuurlijke levenswijze eist op haar beurt een gepaste regeling van de omgevingsfactoren.

Winteromstandigheden als dusdanig zijn ongeschikt voor een rendabele productie. De korte dag, de lage luchttemperatuur, de temperatuurschommelingen, de hoge luchtvochtigheidsgraad ... zijn alle factoren die, dank zij klimaatregeling, in overeenstemming moeten gebracht worden met de eisen voor een optimaal microklimaat.

De begrenzing van de activiteit van de dieren binnen het hok, de hoge bezetting, het vervangen van het natuurlijk klimaat, de beperking van de aangeboren levensverrichtingen door lattenroosters, draadvloeren en andere, scheppen nieuwe en onverwachte problemen. Daaronder kunnen worden vermeld: kannibalisme, pikorde, stalmoeheid, chemische luchtsamenstelling, luchtbeweging en tochtverschijnselen, stof, stralingsuitwisseling tussen dier en omgeving, ...

Ongetwijfeld bieden de nieuwe technieken opmerkelijke economische voordelen. Het logisch gevolg was dat omstreeks 1960 meer dan 50 % van de legpluimveestapel reeds was overgeheveld naar meer gerationaliseerde bedrijven van 1.000 tot 10.000 leghennen. In 1967 is de

toestand zo, dat nog slechts een gering procent van de leghennenstapel kan worden genoteerd op de verouderde bedrijven van minder dan 500 dieren.

De pluimveeteelt is een afzonderlijke bedrijfstak geworden in de landbouw, een specialisatie die zeer dikwijls met uitsluiting van elke andere wordt bedreven. Het was trouwens ook in deze sector dat het eerst over "industrialisatie" gesproken werd.

De studie van de cyclische spreiding van de legkuikenopfok, van productiecijfers gedurende de laatste 15 jaren en van gegevens over ziekte en sterfte, laat toe om enerzijds de reeds bereikte resultaten te illustreren en anderzijds de actuele problemen te beklemtonen.

Niet elk verlies aan dieren of productie wordt rechtstreeks door een ongeschikt stalklimaat veroorzaakt. Voor intensieve bedrijven vertegenwoordigt echter ook elke verbetering in voederomzet een belangrijke economie. Door meerdere onderzoekers wordt erop gewezen dat het stalklimaat ook daar een uiterst belangrijke taak te vervullen heeft.

1.2. HET BELANG VAN DE KLIMAATREGELING VOOR DE CYCLISCHE SPREIDING VAN DE LEGKUIKENOPFOK

Vóór 1960 was de opfok van kuikens, bestemd voor de leg, hoofdzakelijk beperkt tot het voorjaar. In maart en april was de opzet het belangrijkste. Vanaf mei tot november werd het uitbroeden volledig stopgezet.

De hokken waarover de kwekers destijds konden beschikken, lieten niet toe een economisch rendabele productie te verwezenlijken, wanneer de dieren vóór de aanvang van de winterperiode niet in volle productie waren gekomen.

Vooral dank zij de verbetering van de huisvesting: aangepaste isolatie, vensterloze hokken, doelmatige ventilatie en zelfs verwarming, is dit bezwaar op dit ogenblik reeds overwonnen.

De cijfers over inleg van broedeieren voor legkuikens in de loop van het jaar, spreken zeer duidelijke taal in dit verband.

Een enquête bij een grote broeierij verschaftte volgende gegevens (tabel 1).

periode maand	53-54	54-55	55-56	56-57	57-58	58-59	59-60	60-61	61-62	62-63	63-64	64-65
juni	-	-	-	-	-	-	-	-	2,19	2,81	7,52	3,19
juli	-	-	-	-	-	-	-	-	1,68	2,13	6,69	5,11
augustus	-	-	-	-	-	-	-	-	2,00	2,85	5,06	4,61
september	-	-	-	-	-	-	-	-	5,39	4,18	7,19	5,96
october	2,04	-	5,79	-	-	-	-	5,03	8,94	6,68	9,06	5,24
november	11,88	9,32	11,93	16,07	18,77	17,51	17,24	16,52	17,06	8,12	8,09	10,06
december	19,10	15,48	13,63	14,14	16,16	12,06	11,90	14,28	11,44	9,19	7,54	10,64
januari	17,22	18,82	14,56	19,17	19,34	19,10	16,44	16,34	11,64	7,92	8,06	7,49
februari	17,50	19,39	14,26	21,04	18,28	19,50	21,16	20,12	12,83	13,84	10,94	9,57
maart	22,20	22,75	15,20	19,43	17,42	21,79	20,95	18,44	12,45	16,87	14,53	14,58
april	10,06	13,74	15,59	10,15	10,03	10,04	11,33	6,21	9,29	15,03	11,90	13,51
mei	-	0,50	9,04	-	-	-	0,98	3,06	5,09	10,38	3,42	10,04

Procentuele verdeling van het aantal ingelegde
broedeieren voor legkuikens in de loop van het jaar

tabel 1 *

* Deze cijfers werden ons bereidwillig ter beschikking gesteld door de firma
Hy-Line te Aarschot (HY-LINE BELGIE, 1966).

Nog steeds wordt in maart - april het grootste deel van de ééndagskuikens afgeleverd.

De waarschijnlijke oorzaken hiervan zijn :

- een deel van de kwekers beschikt nog niet over de moderne geklimatiseerde gebouwen, die een spreiding van de opfok over het ganse jaar mogelijk maken;
- een psychologische verklaring: de traditionele werkmethoden worden moeilijk en slechts langzaam verlaten.

In het feit dat de cyclische spreiding nu reeds een grondige wijziging onderging, mag echter wel een bewijs gezien worden van de mogelijkheid en de evolutie die volop aan gang is.

1.3. GLOBALE PRODUCTIEVERLIEZEN IN DE PLUIMVEESECTOR

1.3.1. Studie van de beschikbare gegevens

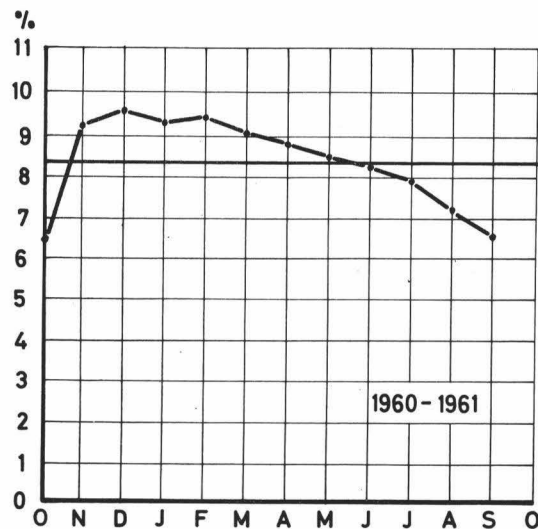
Jaarlijks zijn de winstderving en de verliezen in de pluimvee-sector bijzonder hoog.

De oorzaken daarvan dienen te worden gezocht in een ongunstige voederomzet, te lage productiecijfers, ziekte en sterfte van de dieren en veeartsenijkundige kosten.

Voor wat het gebouw betreft zijn er de kosten voor het regelmatig vervangen van het bodemstrooisel, de kortere levensduur en grotere onderhoudskosten van de gebouwen, die de financiële balans nadelig beïnvloeden.

Hierna volgt een poging om de belangrijkheid te schetsen alleen reeds van het productieverlies in België.

Als basis voor de vergelijking wordt gebruik gemaakt van het gemiddelde van de productiecijfers voor negen lichte legrassen, zoals die door het Rijksstation voor Kleinveeteelt te Lemberge werden opgenomen gedurende de periode 1960 - 61 (fig. 1) (KEPPENS en DE GROOTE, 1962).



Globale gemiddelde legcurve voor
9 verschillende lichte legrassen

figuur 1

De verzorging, hygiëne en klimaatregeling in de hokken waar deze legtesten worden verricht, mogen als toonaangevend worden beschouwd.

Door de totale productie van deze groep dieren met 100 gelijk te stellen, kan worden berekend hoeveel procent eieren van de totale productie, per maand gedurende de legcyclus beschikbaar komen. Deze cijfers op grafiek gebracht geven de vorm van de legcurve van de betrokken dieren.

Ook bij het beschouwen van de productie van een grotere groep dieren op verschillende bedrijven verspreid, maar die tegelijkertijd in productie komen, bijv. augustus - september, zou dus een zelfde globale legcurve moet worden teruggevonden.

Naarmate de opzet van de dieren meer gelijkmatig verspreid wordt over het gehele jaar, zal ook de procentuele verdeling van de productie over de verschillende maanden minder sterk uiteenlopen, en zal de globale productiecurve een vlakker verloop krijgen.

In het uiterste geval, wanneer de spreiding van de opzet uniform over het ganse jaar zou geschieden, zou ook de maandelijkse globale productie constant blijven, althans wanneer andere

storende invloeden uitgesloten zijn. De maandelijkse productie zou dan 8,33 % van de jaarproductie bedragen en op grafiek gebracht door een horizontale lijn worden weergegeven.

Aangezien de jaarlijkse cyclische spreiding slechts één maximum en één minimum kent, met een geleidelijke overgang tussen de uitersten, moet de marktaanvoer gedurende de normale legcyclus van september tot augustus eenzelfde globaal verloop hebben, als de legcurve gevonden bij de legtesten.

Om nu, uitgaande van deze theoretische beschouwingen, conclusies te kunnen trekken, voor wat de afwijkingen van de normale productie in België aangaat, worden de marktaanvoercijfers te Kruishoutem van 1949 tot 1965 in 4 verschillende periodes beschouwd:

- periode 1949 - 1959 : gekenmerkt door kleine diergroepen en slechte huisvesting, meestal nog met buitenbeloop;
- periode 1960 - 1965 : gemiddeld aanzienlijk grotere diergroepen, slechts zelden buitenbeloop voor de dieren, beter geklimatiseerde hokken;
- periode 1962 - 1963 : gekenmerkt door uitzonderlijke en langdurige koude;
- periode 1960 - 1965 : met uitzondering van de productiecyclus 1962 - 1963.

De conclusies die uit de gegevens van de markt te Kruishouten kunnen worden getrokken, mogen als representatief worden beschouwd, gezien zijn centrale ligging en de belangrijkheid van de verhandelingen :

27.000.000 eieren in 1949

57.000.000 eieren in 1965

en een maximum van 65.000.000 eieren in 1962.

Op dezelfde wijze als voor de productie bij de legtesten, wordt de som deraangevoerde eieren in elk van de vier beschouwde periodes gelijkgesteld met 100.

De som van de marktverhandelingen van de septembermaanden in elk van de beschouwde periodes wordt in % uitgedrukt t.o.v. het totaal voor die periode. Hetzelfde wordt gedaan voor de andere maanden (fig. 1 tot 5 en tabel 2).

maand periode	sept	oct	nov	dec	jan	feb	mrt	apr	mei	juni	juli	aug
1960-1961 (referentie)	6,48	9,19	9,57	9,27	9,41	9,03	8,77	8,51	8,25	7,85	7,15	6,50
1949-1959	8,75	10,34	9,69	10,96	8,64	7,27	7,20	6,82	7,20	7,30	7,89	8,26
1960-1965	8,45	10,09	8,22	8,87	8,45	7,46	7,98	7,83	7,89	7,95	8,62	8,20
1962-1963	8,76	10,90	8,21	9,40	6,98	7,08	7,14	9,09	7,79	7,59	9,57	7,44
1960-1965	8,31	9,89	8,23	8,74	8,82	7,56	8,19	7,72	7,91	8,04	8,38	8,39

Maandelijkse aanvoer van eieren op de eiermarkt te Kruishoutem, in % uitgedrukt t.o.v. de totale aanvoer in de beschouwde periode (VERKINDEREN, 1960 en GEMEENTEBESTUUR KRUISSHOUTEM, 1966)

tabel 2

1.3.2. Bespreking van de resultaten

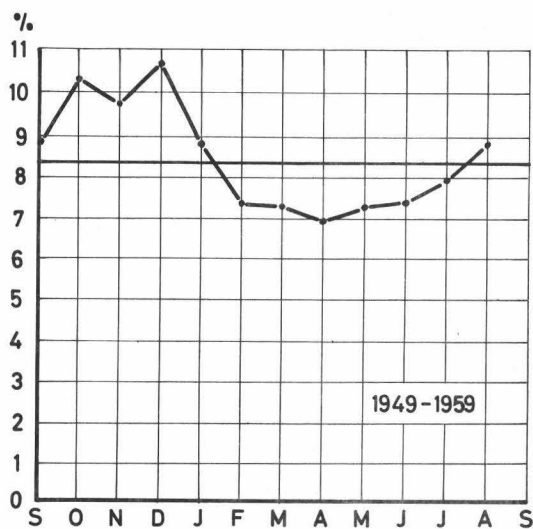
Door vergelijking van de vijf figuren, kunnen wij duidelijk het tijdstip van de productieremming situeren. Deze treedt telkens op in januari en februari, de koudste maanden van het jaar.

Bijzonder sterk is die daling voor de periode 1949 - 1959 en voor de winter 1962 - 1963, minder uitgesproken voor 1960 - 1965.

Deze wijziging ten gunste vindt waarschijnlijk haar oorsprong in de algemene verbetering van huisvesting, omstreeks de aanvang van de periode 1960 - 1965.

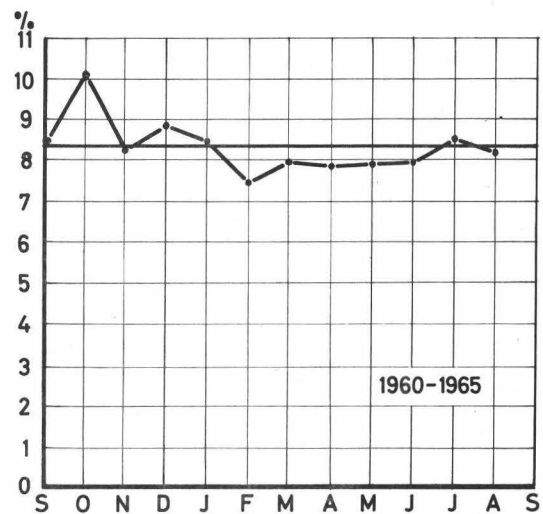
Voor de periode 1960 - 1965 zijn de verschillen in aanvoer tussen de maanden onderling geringer geworden, als gevolg van de betere cyclische spreiding van de kuikenopzet.

De winter 1962- 1963 kenmerkt zich nog door een lage aanvoer van eieren gedurende de maanden januari, februari en maart tengevolge van de uitzonderlijk lage temperaturen.



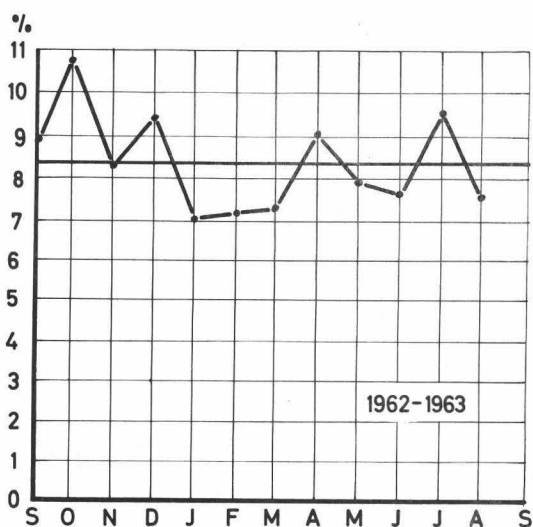
Procentuele verdeling van de eieraanvoer per maand op de markt van Kruishoutem voor de periode 1949 - 1959

figuur 2



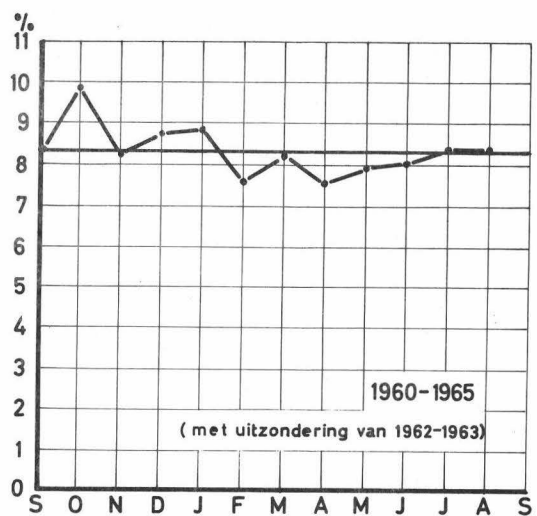
Procentuele verdeling van de eieraanvoer per maand op de markt van Kruishoutem voor de periode 1960 - 1965

figuur 3



Procentuele verdeling van de eieraanvoer per maand op de markt van Kruishoutem voor de periode 1962 - 1963

figuur 4



Procentuele verdeling van de eieraanvoer per maand op de markt van Kruishoutem voor de periode 1960 - 1965, met uitzondering van 1962 - 1963

figuur 5

1.3.3. Gevolgtrekkingen en besluiten

Niettegenstaande de aanzienlijke verbeteringen, doet zich de invloed van de winter steeds gelden op de productie, zodat nog altijd belangrijke verliezen worden geleden.

De belangrijkheid van de afwijking van de normale curve, geeft een idee van de grootte van de verliezen. Eén cijfervoorbeeld slechts volstaat om dit duidelijk te illustreren.

In december 1962 bedroeg de aanvoer van eieren 6.380.000, in januari 1963 slechts 4.740.000, in februari 4.810.000, in maart 4.850.000 en in april opnieuw 6.170.000. Dit betekent dat de productie gedurende drie maanden ongeveer 20 % lager lag dan normaal.

Zoals hierboven reeds aangetoond is de cyclische spreiding van de opzet van kuikens over het jaar aanzienlijk verbeterd, doch zeker nog niet uniform.

Bij abnormale afremming van de leg bij de aanvang van de cyclus, wordt nadien het normale productiepeil slechts zeer langzaam bereikt. Dit betekent dat, na het uitschakelen van de oorzaken, de gevolgen zich nog een zekere tijd doen gelden.

Volgens STEINEGGER (1958) bestaat er zelfs een positieve correlatie tussen winter- en jaarproductie. Hieruit blijkt dus eveneens hoe belangrijk het is de winterproductie op peil te kunnen houden.

Uit dit alles mag worden afgeleid dat de huisvesting en de klimaatregeling van fundamenteel belang zijn voor het verwezenlijken van een maximale productie.

1.4. VERLIEZEN DOOR ZIEKTE EN STERFTE

Volgens ramingen worden in België ongeveer 1.550.000 moederdieren gehouden, benevens 15.000.000 leghennen en 75.000.000 mestkippen.

Samen met de algemene tendens voor concentratie tot grotere diergroepen, is het ziektetrisico aanzienlijk toegenomen.

Uit het onderzoek van DEVOS (1965) kennen wij de aanwezigheid en de frequentie van de voornaamste pluimveeziekten in België voor 1964.

Wij kunnen eruit besluiten dat bepaalde ziekten, waarvan gekend is dat zij met de hygiëne en het stalklimaat samenhangen, zeer veelvuldig voorkomen: parasitaire ziekten, ademhalingsziekten...

Een officiële raming door het U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (1965) van een deel van de verliezen geleden in de pluimveeteelt in de U.S.A. is eveneens sprekend. Alleen voor kippen wordt het gemiddeld jaarlijks verlies door sterfte, ziekte-toestand, inwendige en uitwendige parasieten, eiergebreken, lage broeduitkomsten e.a., geraamd op 360.711.000 dollar of ongeveer 10 % van de bruto-opbrengst die 3.368.000.000 dollar bedraagt. Een aanzienlijk gedeelte van de verliezen kan worden toegeschreven aan gebrekkige hygiëne en klimaatverzorging.

Van sommige ziekten kan, bij aanwezigheid van besmetting, het ziekteverloop dramatisch worden of vergt de behandeling bijzonder grote kosten, wanneer het stalklimaat en de algemene hygiëne, die ermede samengaat, worden verwaarloosd. De uitbreiding van de parasitaire infecties, zoals coccidiosis en wormbesmetting, hangt nauw samen met de toestand van het bodemstrooisel. Ademhalingsziekten als C.R.D., longontsteking en snot breken meestal door, waar, door een ongunstig klimaat, de dieren in een dankbare voedingsbodem voor de infectie worden herschapen.

In de loop van ons onderzoek is het ons opgevallen dat de sterfte- en ziektecijfers op éénzelfde bedrijf van jaar tot jaar toenemen en dat ook de productie van het eerste jaar nadien nog moeilijk kan geëvenaard worden.

Dit verschijnsel, dat wij "stalmoeheid" kunnen noemen, doet zich vooral voor op bedrijven met meerdere hokken, die niet alle gelijktijdig een zekere periode ongebruikt blijven ter ontsmetting.

In een reeks hokken met lichte moederdieren op hetzelfde bedrijf, werden productie en sterfte vijf opeenvolgende jaren waargenomen (tabel 3). Het aantal dieren dat werd gevolgd, bedroeg 6.000 tot 8.000 per jaar.

jaar	productie in % (gemiddelde van 7 maanden)	gemiddelde sterfte in % per maand
1960-61	79,35	1,07
1961-62	68,92	2,28
1962-63	68,00	3,07
1963-64	68,75 *	5,83 *
1964-65	70,40 **	5,25 *

Evolutie in productie en sterfte op een intensief pluimveebedrijf
tabel 3

De resultaten van dit onderzoek spreken duidelijk: de uitvalcijfers gaan in stijgende lijn met de gebruiksduur van de hokken. Vanzelfsprekend ligt de absolute waarde van deze cijfers hoger dan normaal bij commerciële rassen zou worden vastgesteld. De onderzochte dieren behoorden namelijk tot inteeltlijnen.

De productiecijfers zijn minder gemakkelijk te verklaren. Toch is duidelijk dat de resultaten van nieuw in gebruik genomen stallen nadien niet meer worden bereikt.

De "stalmoeheid" heeft slechts onrechtstreeks betrekking met de klimaatregeling: hoe slechter de klimaatregeling en de stalhygiëne, des te meer ziektegevallen er zich kunnen voordoen, en des te groter de kans dat belangrijke besmettingshaarden op het bedrijf aanwezig blijven. Een ononderbroken productiecyclus op een bedrijf brengt dan ook een aanzienlijk aantal nieuwe problemen mede.

De klimaatregeling, de ventilatie en de algemene hygiëne zullen ook in dit verband meer en meer aan belang winnen, gezien jonge dieren nu reeds op een willekeurig tijdstip van het jaar kunnen worden opgezet, terwijl dieren van andere ouderdom nog op het bedrijf aanwezig zijn.

* De gegevens met betrekking op deze cyclus zijn op zes maanden berekend.

** De gegevens met betrekking op deze cyclus zijn op vijf maanden berekend.

HOOFDSTUK II

WARMTE- EN VOCHTBALANS GEDURENDE DE WINTER IN LEGHENNENHOKKEN MET BODEMSTROOISEL

2.1. OMSCHRIJVING VAN HET GEWENSTE MICROKLIMAAT IN LEGHENNENHOKKEN

2.1.1. Inventaris van de bijzonderste klimaatsfactoren

De nauwkeurige omschrijving van het optimaal microklimaat voor producerende dieren, dus ook voor leghennen, is zeer complex. Dit is niet alleen het gevolg van de interferentie van talrijke factoren, doch ook van het feit dat de dieren hun gewaarwordingen niet rechtstreeks kunnen kenbaar maken. Daarenboven zijn de eventuele onmiddellijke reacties soms moeilijk te interpreteren, en mogelijke productiewijzigingen en (of) ziekteverschijnselen kunnen zich laattijdig voordoen en daarenboven nog andere oorzaken hebben.

De individuele en ook de gezamenlijke invloed van de klimaatscomponenten op het thermisch comfort van de mens zijn uiteraard beter bekend, zodat zelfs relatief nauwkeurige comfortzones konden worden opgesteld.

Algemeen wordt aangenomen dat de warmtegewaarwording functie is van de 4 volgende factoren (MISSENARD, 1959) :

- de temperatuur afgelezen op de droge thermometer;
- de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van de wanden;
- de vochtigheidsgraad van de lucht;
- de luchtsnelheid.

Ook voor het stalklimaat blijkt de interactie tussen deze componenten van belang. Het is echter duidelijk dat voor de verschillende diersoorten telkens andere comfortzones zullen geldig zijn. De vraag of bij de dieren het beïnvloeden van het thermisch comfort, door elk van de hierboven vermelde factoren, een gelijkaardig belang heeft als bij de mens, is nog onbeantwoord.

Het complex verschijnsel van de behaaglijkheid, in functie van het microklimaat, wordt in hoofdzaak door de "warmtegewaarwording" uitgedrukt.

Op haar beurt is de warmtegewaarwording niet eenvoudig te meten, noch zelfs te beoordelen. Pogingen werden gedaan om de warmtegewaarwording voor de mens door één enkel cijfer te omschrijven. Zo zijn meerdere "temperatuur"-begrippen ingevoerd en wordt er gesproken over omgevingstemperatuur, equivalente temperatuur, gevoelde temperatuur, resulterende temperatuur, e.a.

Men kan in dat verband zeker niet gewagen van synoniemen en nochtans is er slechts één doel : over een maatstaf te beschikken voor het vaststellen van behaaglijkheid of warmtegewaarwording.

Al deze "temperatuur"-soorten hebben gemeen, dat zij trachten rekening te houden met meer dan één component van het microklimaat in de stal.

Het feit alleen reeds dat deze verschillende begrippen in 't leven werden geroepen, bewijst dat geen enkel ervan volledige voldoening geeft, laat staan zonder kritiek kan worden aangewend.

Voor een nauwkeurig vaststellen van de thermische gewaarwording, dienen minstens volgende waarnemingen verricht :

- temperatuur op droge en natte thermometer;
- oppervlaktetemperatuur van de wanden en stralingsverliezen van de dieren;
- snelheid van de luchtverplaatsing.

Deze resultaten worden door middel van een experimentele formule, die meestal naargelang de auteur verschillend is, verwerkt tot een maatcijfer van het thermisch comfort.

Andere onderzoekers hebben gepoogd door één of hoogstens een paar metingen, maar met meer geperfectioneerde meetapparatuur, verschillende van de hierboven aangehaalde factoren te combineren.

Hier kunnen als bijzonderste worden vermeld :

- de katathermometer (CENA en COURVOISIER, 1949; BRADKE et al., 1951; JANOWSKI, 1964);
- de black globe thermometer (BOND, 1955).

Tot nog toe ziet men nochtans in de gespecialiseerde vakliteratuur zelden een beschrijving van het stalklimaat met dergelijke apparatuur als uitgangspunt.

Wijzen wij er hier ook tevens op dat, in tegenstelling met de thermo- en hygrometers, deze toestellen moeilijk door de praktijk gebruikt kunnen worden.

Meest nog worden de twee klassieke componenten van het stalklimaat : luchttemperatuur en relatieve luchtvochtigheid onderling in verband gebracht, zodat dan een comfortzone uitsluitend met deze twee veranderlijken wordt opgesteld. Reeds vroeger hebben wij aldus de comfortzone van het rundvee bestudeerd (PETIT en DEBRUYCKERE, 1962). Afzonderlijk wordt dan een begrenzing vermeld van luchtsnelheid, stalgassenconcentratie, stofgehalte in de lucht e.a.

Willen wij over een aanzienlijke reeks basisgegevens uit de wereldliteratuur beschikken, zo zijn wij genoodzaakt met afzonderlijke waarnemingen voor de verschillende klimaatsfactoren te werken.

Wanneer nu verder in deze dissertatie gesproken wordt over luchttemperatuur, zal steeds bedoeld worden de aflezing gedaan op de droge thermometer.

Het is ons bekend dat dit cijfer alleen een volwaardige maat voor de thermische gewaarwording wordt, bij stilstaande met waterdamp verzadigde lucht, en mits de droge luchttemperatuur gelijk is aan de oppervlaktetemperatuur van de wanden (DE GRAVE, 1957; MISSENARD, 1959).

De oppervlaktetemperatuur van de wanden kunnen wij buiten beschouwing laten, omdat wij van de veronderstelling uitgaan, dat het thermisch isolatievermogen van de wanden in moderne hokken voldoende is, zodat er slechts een gering verschil tussen lucht- en wandtemperatuur optreedt. In dit geval is de fout die begaan wordt bij het niet inacht-nemen van de wandtemperaturen voor de studie van het thermisch comfort dan ook kleiner.

De bijkomende redenen, waarom wij in deze studie de luchttemperatuur als afzonderlijke karakteristieke factor van het klimaat hebben genomen, zijn volgende :

- de optimale temperaturen in de literatuur vermeld, betreffen waarden afgelezen op de droge thermometer. Wij wensen hier aan te sluiten op al het research-werk dat reeds werd verricht.
- de praktijk is georiënteerd naar deze grootheid en de automering is hoofdzakelijk op dit begrip ingesteld.
- zoals uit het verloop van deze dissertatie zal blijken, is het van belang over de afzonderlijke waarden van de luchttemperatuur te beschikken, voor het verklaren van luchtstromingen bij de studie van de ventilatie.
- bij de analyse van het complexe probleem van de klimaatregeling is het wenselijk eveneens te beschikken over de afzonderlijke waarde van elk van de andere elementen van het microklimaat, teneinde de eventuele fouten en tekortkomingen te kunnen opsporen.

Bij de omschrijving van het microklimaat zullen wij derhalve luchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid en luchtsnelheid als afzonderlijke grootheden blijven beschouwen, ons wel bewust van de bestaande onderlinge betrekking.

Het comfortgevoel van de dieren is niet enkel functie van de thermische gewaarwording, doch ongetwijfeld ook nog van de scheikundige samenstelling van de lucht en van de luchtvochtigheidstoestand en structuur van het bodemstrooisel.

Deze studie van het microklimaat betreft derhalve volgende factoren :

- a) fysische factoren : luchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid en luchtsnelheid;
- b) scheikundige samenstelling van de stallucht : stalgassen en stof;
- c) vochtgehalte en structuur van het bodemstrooisel.

2.1.2. Belang van de verschillende klimaatsfactoren en omschrijving van een optimaal microklimaat

Om een rendabele productie te bekomen, dient het microklimaat zo dicht mogelijk het economisch optimale voor de betreffende diersoorten te benaderen.

Belangrijke afwijkingen, die niet stroken met het dierlijk comfort, geven aanleiding tot stress.

De stress-factoren kunnen nochtans zeer verscheiden zijn van aard : stalklimaat, voeding, onrust, enz.

Een stress-toestand kan zowel physiologische als zelfs pathologische gevolgen hebben. Meestal kenmerkt zich dit in een storing van de normale physiologische activiteit, wat resulteert in vermindering van groeisnelheid en productie, en in een ongunstige voederomzet.

Om de mogelijkheden, geboden door de selectie, volledig te kunnen benutten, dient de grootst mogelijke graad van efficiëntie te worden bereikt voor de huisvestingsvoorwaarden, de voedersamenstelling, preventieve en curatieve diergeneeskunde

De moderne teelttechnieken in hoofdstuk I beschreven, gepaard gaande met grotere dierenconcentraties op kleinere oppervlakten, hebben de problematiek echter steeds scherper gesteld.

ESMAY (1964) schrijft : "insofar as egg production is concerned, about 25 % of the difference between hens can be classified as genetics and 75 % due to environment".

Dit wijst duidelijk dat onderzoek over klimaatregeling aan de basis ligt van het verder verbeteren van de bedrijfsvoorwaarden.

Hierna volgt dan een beknopte literatuurstudie van de richtcijfers voor de verschillende klimaatsfactoren. Dit zal als vertrekpunt dienen voor het verwezenlijken van een verantwoorde omschrijving van het na te streven microklimaat.

In de volgende hoofdstukken zullen wij dan naar deze richtcijfers refereren, om de resultaten van de verschillende onderzochte ventilatiesystemen te beoordelen.

Onder richtcijfer wordt hier verstaan, deze waarde van temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, luchtsnelheid, enz., die onder praktijkomstandigheden de meest economische resultaten kan waarborgen.

In bepaalde gevallen zijn de richtcijfers na te streven waarden (t), in andere gevallen hoogst toelaatbare grenswaarden (R.V., L.S., stalgassen, stof, vochtgehalte bodemstrooisel).

2.1.2.1. Luchttemperatuur (t), relatieve luchtvochtigheid (R.V.) en
luchtsnelheid (L.S.)

Luchttemperatuur

De warmbloedige dieren beschikken over een homoiostatisch regeringsmechanisme om zich aan de schommelingen van de luchttemperatuur aan te passen.

Het is reeds lang gekend hoe een dier reageert op de variatie van de temperatuur. Hoe verder deze van het punt van thermoneutraliteit (*) afwijkt, des te ingrijpender de activiteit van het regeringsmechanisme dient te worden (PETIT en DEBRUYCKERE, 1962).

Voedingstoestand, samenstelling en energieinhoud van het voeder, bevedering, beweging, productie en andere factoren, bepalen de optimale temperatuur waarbij de dieren in normale praktijkomstandigheden dienen te worden gehouden. Deze ligt lager dan de temperatuur horend bij de thermoneutraliteit in basaal-metabolismetoestand.

Bovendien moeten de voorgestelde richtcijfers bedrijfseconomisch realiseerbaar zijn. Dit betekent dat met een vrij ingewikkelde interferentie zou dienen rekening te worden gehouden, waarin voederprijzen, verkoopprijzen van eieren, bouw-, ventilatie- en eventuele verwarmingskosten voorkomen.

In feite is het onmogelijk exacte en voor elke omstandigheid geldende richtcijfers voor te stellen, voornamelijk omdat de verkoopprijzen van de producten aan voortdurende en sterke schommelingen onderhevig zijn.

Hier dient ongetwijfeld de aandacht gevestigd op de mogelijkheid tot opdrijven van de leg door kunstmatige variatie van de staltemperatuur tussen 15 en 30°C (PAYNE, 1965, tabel 4). Of dit a priori rendabel is, kan men betwijfelen; dit zou inderdaad een belangrijke warmtetoevoer veronderstellen, waarvan de kosten waarschijnlijk hoger liggen dan de geldelijke meeropbrengst. Nochtans zou het effect van deze thermo-

(*) De thermoneutraliteitstemperatuur is deze luchttemperatuur, waarbij het dier een minimaal beroep moet doen op zijn homoiostatisch regeringsmechanisme om energie te behouden of af te geven.

periodiciteit grondiger dienen te worden onderzocht.

Voor de formulering van het temperatuurrichtcijfer, zullen wij dan ook geen rekening houden met de hoogste temperatuurgrens door sommige auteurs vermeld (temperaturen boven 20°C).

Bemerken wij hierbij dat slechts zelden gewezen wordt op het onderling verband tussen temperatuur, relatieve luchtvochtigheid en luchtsnelheid. Nog veel minder wordt de aandacht getrokken op de rol die de oppervlaktetemperatuur van de wanden kan spelen. Weinige onderzoekers wijzen op het belang van het bedrijfseconomisch aspect in verband met de studie van het microklimaat.

Voor wat de optimale temperatuur aangaat, schijnen de meeste onderzoekers het evenwel eens over het richtcijfer 13°C. Uit tabel 4 volgt ook, dat toegestane afwijkingen voor pluimvee, eerder in hogere dan in het lagere temperatuurbereik vallen, dit in tegenstelling met de toestand voor rundvee.

Relatieve luchtvochtigheid

Het is ons niet bekend dat onderzoek werd verricht over het effect van de relatieve luchtvochtigheid op de eierproductie.

Volgens recente onderzoekingen van JANOWSKI (1964) en RUMML en KUČA (1965), schijnt er wel een verband te bestaan tussen R.V. en de belangrijkheid van de luchtmicroflora : bij hoge R.V. is de luchtmicroflora het sterkst ontwikkeld. Deze conclusie lijkt ons trouwens zeer logisch.

De meeste auteurs nemen aan dat een R.V. lager dan 75 - 80 % voldoening geeft.

Uit ons eigen onderzoek blijkt nochtans, dat voor het behoud van de normale toestand van het bodemstrooisel een R.V. van 70 % of lager van essentieel belang is.

De onderhoudskosten aan hokken en inrichting, de duurzaamheid zelf van de gebouwen, het behoud van de warmtesparende eigenschappen van de bouwmaterialen, houden eng verband met de R.V. van de stal-lucht.

referentie	optimale temperatuur of temperatuurzone	minimale temperatuur *	relatieve luchtvochtigheid	luchtsnelheid	bemerkingen
ASHRAE GUIDE AND DATA BOOK (1964)	7,2 - 29,4	-	-	-	temperatuurcontrole dient niet zo exact als voor rundvee en varkens
BORCHERT (1961)	12 - 22 °C	-	65 - 70 %	-	literatuuronderzoek
COMBERG (1965)	15 - 20 °C	-	60 - 80 %	-	-
DALE en LONG (1958)	13 - 21 °C	0 °C	-	-	-
DAVIES (1960)	12,7 °C	-	50 - 95 %	-	-
DIN 18910 (1963)	13 - 18 °C	3 °C	80 %	20 cm/sec	-
ESMAY (1964)	10 - 12,7 °C	7,2 °C	80 %	-	bij hogere temperaturen dient de R.V. lager te zijn
HUTSCHENREUTHER (1960)	5 - 15 °C	5 °C	80 %	-	-
LONGHOUSE (1964)	12,7 °C	-	75 %	-	daling tot ongeveer 11 °C is toegelaten
LONGHOUSE, GARVER (1964)	7,2 - 22,7	-	50 %	-	bij cyclische variatie in temperatuur van 12,7 °C tot 32,2 °C en terug naar 12,7 °C, wordt het aantal eieren groter, maar het eigewicht en de kwaliteit der eischaal nemen aanzienlijk af
LONGHOUSE, OTA, ASHBY (1960)	12,7 °C	-	80 %	-	bij hogere temperaturen dient de R.V. lager te zijn
OTA, GARVER, ASHBY (1953)	12,7 °C	-	-	laag (?)	R.I.R.
OTA, WILSON, Mc NALLY (1957)	12,7 °C	-	60 - 65 %	-	witte Leghorn
OTTO en PECHERT (1963)	13 - 21 °C	-	65 - 80 %	-	R.V. < 60 % heeft schadelijke uitwerking op de huid, vertraagt de groei en veroorzaakt hogere sterfte
PARKER (1953)	-	- 1,1 °C	80 %	-	staltemperatuur = f (buitentemperatuur)
PAYNE (1965)	15 - 30 °C	-	-	-	fluctuerende temperaturen geven beter resultaat dan constante temperatuur
SPLITTGERBER (1960)	-	-	65 - 70 %	-	-
TILLEY (1964)	7,2 - 21 °C	-	80 %	-	-
WILSON et al (1957)	9 - 29 °C	-	-	-	dagelijkse temperatuurschommelingen zijn niet schadelijk voor de eierproductie
WOLFERMANN (1965)	15 - 20 °C	10 °C	-	-	-

Overzicht van een literatuurstudie in verband met het thermisch comfort en het microklimaat in leghennenhokken

tabel 4

* Minimale temperatuur = temperatuur beneden dewelke de bedrijfsresultaten niet meer economisch verantwoord zijn.

Luchtsnelheid

Weinig onderzoek werd ook verricht over de invloed van de luchtsnelheid.

Ongetwijfeld is een te hoge luchtsnelheid schadelijk. Zowel temperatuur als relatieve vochtigheid spelen daarbij nochtans een belangrijke rol : lage temperaturen en (of) hoge R.V. zijn reeds bij relatief lage L.S. onbehaaglijk voor mens en dier.

RIST (1965) wijst erop, dat het verband tussen luchttemperatuur, relatieve luchtvochtigheid en luchtsnelheid voor de behaaglijkheid van de mens vrij goed gekend is, doch beklemtoont het gebrek aan onderzoek wanneer het om klimaatregeling voor dieren gaat: "Nun ist anzunehmen, dass die Tiere infolge ihres Haar- und Federkleides etwas unempfindlicher sind als die Menschen. Aber diese Annahme sollte zu einem Wissen werden! Solange dies nicht der Fall ist, bleibt dem Techniker nur übrig, die Luftgeschwindigkeit im Winter im Bereich der Tiere so klein wie möglich zu halten".

Het is verder goed bekend dat de belangrijke groep van ademhalingsziekten sterk in de hand wordt gewerkt door tochtverschijnselen (*).

Hoge luchtsnelheid betekent daarenboven aanzienlijke warmteafgifte door convectie, wat kan aanleiding geven tot ongunstige voederomzet, zoals bij een onderzoek met mestkippen kon worden vastgesteld (NEUCKERMANS en DEBRUYCKERE, 1966).

PRINCE (1960) wees reeds vroeger op de invloed van de combinatie luchttemperatuur en L.S. voor de groeisnelheid en voederomzet van mestkippen.

Als maximaal toelaatbare luchtsnelheid voor pluimvee wordt 0,20 m/sec genoemd (DIN 18910, 1963).

2.1.2.2. Scheikundige samenstelling van de lucht

Stalgassen

De chemische samenstelling van de stallucht is een van oudsher belangrijk probleem. Niettegenstaande de vorderingen gemaakt in

(*) Het gevoel van tocht wordt opgewekt door een luchtstroming met lagere temperatuur dan de omgevende lucht die een plaatselijk te sterke afkoeling op een lichaamsdeel veroorzaakt.

stallenbouw en -inrichting, is dit probleem door het intensiveren van de pluimveehouderij terug in het brandpunt komen te staan.

Gebrek aan zuurstof, overmaat aan koolzuurgas, ammoniak, zwavelwaterstof en stofdeeltjes, veroorzaken aanzienlijke schade.

De voornaamste schadelijke gassen die in de pluimveehokken kunnen voorkomen, en het ontstaan vinden hetzij bij de dieren zelf hetzij uit de mest, zijn : CO_2 , NH_3 en H_2S .

Bij ons weten is er zeer weinig experimenteel onderzoek verricht over de schadelijkheid van deze gassen bij huisdieren.

WOLFERMANN (1965 B) noemt als hoogst toelaatbare concentratie voor CO_2 : 3500 ppm, voor NH_3 : 100 ppm en voor H_2S : 20 ppm.

Over het effect van een te hoog CO_2 -gehalte op pluimvee, zijn ons weinig gegevens bekend.

Volgens Mc ALLISTER (1966) zouden bij leghennen, die gedurende relatief korte periodes van 12 tot 54 h aan CO_2 -concentraties van 20.000 tot 50.000 ppm zijn blootgesteld, de productie en de eikwaliteit (schaaldikte) ongunstig beïnvloed worden.

JANOWSKI (1964) stelt als een maximum toelaatbaar CO_2 -gehalte voor pluimvee 700 tot 1000 ppm voor.

SCARBOROUGH (1959) toonde aan dat 50 ppm NH_3 in de lucht gedurende 10 dagen, reeds een negatieve invloed heeft op de groei van kuikens.

Onderzoekingen in Beltsville (LONGHOUSE, OTA, ASHBY, 1960) bewijzen, dat hennen in staat zijn ongeveer 40 ppm NH_3 te verdragen zonder direct schadelijke gevolgen.

Mestkuikens gaan sporen van keratoconjunctivitis vertonen, wanneer de concentratie boven 50 ppm ligt gedurende ongeveer 2 weken. Concentraties van ongeveer 75 ppm geven aanleiding tot groeiremming. NH_3 zou eerder onaangenaam worden voor de verzorger (25 - 35 ppm) dan er schadelijke invloed wordt genoteerd op de dieren (LONGHOUSE en GARVER, 1964) (ASHRAE, GUIDE and DATA BOOK, 1964).

Mc ALLISTER (1966) verstrekt in een recente studie belangrijke inlichtingen over het effect van NH_3 op leghennen. Het blootstellen

van leghennen gedurende 9 weken aan een concentratie van 100 ppm NH_3 , had een significante daling van de productie tot gevolg. De productie kon niet op een normaal peil worden gebracht door de dieren nadien in een NH_3 -vrij milieu te huisvesten. Het gewicht van de dieren was reeds in belangrijke mate afgenomen door een verblijf van 4 weken in een milieu met een NH_3 -gehalte van 50 ppm. Wanneer leghennen gedurende een 3-tal dagen in een omgeving vertoeven, waarvan de NH_3 -concentratie zelfs lager is dan 20 ppm, zijn zij significant meer onderhevig aan infectieziekten van de ademhalingswegen.

Tijdens ons onderzoek hebben wij geen H_2S in pluimveehokken kunnen vaststellen. In moderne varkens- en rundveestallen daarentegen, waar het vloei- of drijfmestkanaal uiteraard niet van de stalatmosfeer afgesloten is, betekent de ontwikkeling van H_2S een ernstig gevaar.

Stof

Deze luchtverontreiniging heeft minstens twee nadelige effecten (Mc CABE, 1950) :

- het is een transportmiddel voor ziekteverwekkende organismen;
- het werkt prikkelend op de slijmvliezen die vatbaarder worden voor ziekteorganismen.

In 't algemeen is elke stofontwikkeling schadelijk en dient zoveel mogelijk vermeden te worden.

Het fysiologisch effect van stof op huisdieren is echter niet volledig gekend (ASHRAE GUIDE AND DATA BOOK, 1964).

Aangezien stof voornamelijk afkomstig is uit het bodemstrooisel en de geproduceerde hoeveelheid afhangt van het vochtgehalte ervan, dient dit laatste boven een bepaalde minimumwaarde te worden gehouden (2.1.2.3.).

De dieren zelf produceren eveneens stof : huidschilfers en deeltjes van pluimen. Dit kan niet worden voorkomen; de ventilatie dient echter in de bestendige afvoer te voorzien.

Het stofgehalte in de stallucht kan zeer sterk uiteenlopen. Bij ons onderzoek in leghennenhokken varieerden de stofgehalten gedurende de winter meestal tussen 1 en 4 mg/m^3 stallucht (kwantitatieve bepaling met behulp van Millipore-filterblaadjes en Leybold-luchtpomp).

De stofproductie van Leghorn hennen zelf varieert tussen 45 en 58 mg/dier en per dag (LONGHOUSE, GARVER, 1964). De zwaarste deeltjes daarvan zetten zich onmiddellijk af. Wanneer gerekend wordt met een gemiddelde ventilatiehoeveelheid van $1 \text{ m}^3/\text{kg}$ levend gew. h, dan zou de stofproductie voor een hen van 1,8 kg, volgens onze waarnemingen $1 \times 1,8 \times 24 = 43 \text{ mg}$ tot $4 \times 1,8 \times 24 = 172 \text{ mg}$ per dag bedragen (stofontwikkeling uit het strooisel inbegrepen), naargelang de vochtigheidsgraad van het strooisel.

2.1.2.3. Vochtgehalte bodemstrooisel

Het vochtgehalte van het bodemstrooisel wordt normaal uitgedrukt in % vocht op nat-gewicht (wet basis) en soms op droog-gewicht (dry-basis).

Een te hoog vochtgehalte (meer dan 40 - 45 % vocht op nat-gewicht) geeft aanleiding tot compact en kleverig bodemstrooisel waarin wormeieren en coccidiën in leven blijven, ontwikkelen en door de dieren terug opgenomen kunnen worden.

Door het vochtig bodemstrooisel worden de dieren snel bevuild en drinkgoot, voederketting en andere inrichting van de hokken verontreinigd, zodat het onmogelijk wordt zuivere en hygiënische eieren te winnen.

Bovendien kan het aanleiding geven tot verhoging van de warmteverliezen.

Het vochtige strooisel geeft een onbehaaglijk gevoel aan de dieren, die daarenboven in een natuurlijke levensgewoonte, het scharrelen in het bodemstrooisel, gehinderd worden.

De vochtigheidsgraad van het strooisel mag ook niet te laag zijn, omdat in dit geval een grote stofontwikkeling optreedt. Deze wordt belangrijk, zodra het vochtgehalte lager wordt dan 30 % op nat-gewicht.

STEWART en HINKLE (1959) noemen 35 - 40 % het maximaal toelaatbaar vochtgehalte van het bodemstrooisel.

LONGHOUSE, OTA en ASHBY (1960) stellen als maximaal toelaatbaar vochtgehalte 40 % voor. Zij noemen als optimaal vochtgehalte van het strooisel 33 %.

Volgens LONGHOUSE en GARVER (1964) mag worden verondersteld dat de levensvoorwaarden voor de dieren gunstig zijn, zolang het vochtgehalte van het strooisel bij 30 - 35 % blijft.

2.1.3. Besluiten

Na kritische analyse van dit literatuuroverzicht kunnen volgende richtcijfers voor het nastreven van een optimaal microklimaat worden voorgesteld :

- luchttemperatuur: $\pm 13^{\circ}\text{C}$ (afwijkingen daarvan, bijzonderlijk in het hoge temperatuurgebied, blijken niet nadelig)

In de meeste van de door ons onderzochte hokken was op thermostaat een temperatuur ingesteld van 10°C of 12°C .

- relatieve luchtvochtigheid: liefst lager dan 70 %
(zeker tussen 60 en 80 %)
- luchtsnelheid in de verblijfzone van de dieren: kleiner dan 20 cm/sec
- oppervlaktetemperatuur van de wanden zo weinig mogelijk afwijkend van de luchttemperatuur
- maximaal toelaatbare gehalten voor :

CO_2 : 3500 ppm JANOWSKI (1964) : 1000 ppm

NH_3 : 50 ppm

H_2S : 20 ppm

stof: streven naar een minimum-hoeveelheid

- vochtgehalte bodemstrooisel : tussen 30 en 40 % vocht op nat-gewicht.

Het zijn dan ook deze waarden die in het verder verloop van deze dissertatie als richtwaarden zullen worden beschouwd.

2.2. OORZAKEN EN GEVOLGEN VAN HET NIET HARMONIEREN VAN DE WARMTE- EN VOCHTBALANS IN PLUIMVEEHOKKEN MET BODEMSTROOISEL

Het opmaken van de warmtebalans, behelst de studie van het evenwicht in aan- en afvoer van warmte, terwijl de vochtbalans de aan- en afvoer van vocht in het hok bestudeert.

Zoals uit dit hoofdstuk reeds duidelijk werd, is het temperatuurprobleem in de hokken een van de hoofdbekommernissen. De temperatuur die uiteindelijk bereikt wordt, resulteert uit de warmtebalans.

Om in de winter de optimale hoktemperatuur te bereiken, beschikt men hoofdzakelijk over de dierlijke warmte. Naarmate de warmte in de hokken beschikbaar komt, gaat ze langs verschillende wegen terug verloren. Dit verlies moet op ieder ogenblik gelijk zijn aan de beschikbare warmte, zoniet ontstaat er een temperatuurdaling of stijging.

Naast het warmteverlies langs de wanden , dient ook rekening gehouden met de warmteafvoer samen met de verbruikte stallucht en de geproduceerde waterdamp. Dit karakteriseert het ventilatieprobleem. De vochtevacuatie vertegenwoordigt daarbij ongetwijfeld het moeilijkste aspect. Wij kunnen inderdaad bewijzen dat een voldoende chemische zuiverheid van de lucht gewaarborgd is, wanneer het vochtprobleem is opgelost.

Merken wij nochtans op dat de problematiek 's winters en 's zomers totaal verschillend is.

Het probleem van de winterklimaatregeling in leghennenhokken, is schematisch voorgesteld op blz. 26.

Zoals voor de omschrijving van een optimaal stalklimaat, is het ook hier onontbeerlijk een overzicht te geven van de bijzonderste literatuurgegevens, die betrekking hebben op voelbare warmte- en waterdampproductie.

Wij kennen de totale warmteafgifte en haar componenten : voelbare warmte en latente verdampingswarmte in functie van de luchttemperatuur (fig. 6).

Warmtebalans

Warmteaanwinst door

- voelbare warmteafgifte van de dieren
- aanvoer van ventilatielucht (zomer)
- fermentatiewarmte uit het strooisel
- dak, wanden en vensters (zonnewarmte)
- vrijkomen van warmte bij condensatieverschijnselen
- kunstmatige verwarming
- warmteafgifte van elektrische lampen en motoren
- voelbare warmteafgifte van personen in het hok werkzaam

Vochtbalans

Toename van waterdamp in stallucht door

- ademlucht van de dieren
- geringe verdamping langs de huid (perspiratio insensibilis)
- evaporatie uit mest en bodemstrooisel
- verdamping uit drinkgoot en afloop onder drinkgoot
- aanvoer van ventilatielucht
- waterdampafgifte van personen in het hok werkzaam
- capillaire opzuiging in vloer en wanden gevolgd door verdamping
- regeninslag gevolgd door verdamping

N.B. Afvoer van morswater langs rioleringen en regelmatige evacuatie van verse mest voorkomen een belangrijke evaporatie.

Stalgassen en stof

Luchtverontreiniging door

- stof en schadelijke gassen uit buitenlucht
- continu verbruik van zuurstof door in de stal aanwezige levende wezens
- CO₂-vorming door het ademhalingsstelsel van de dieren en door andere verbrandingsprocessen
- NH₃-ontwikkeling voornamelijk door bacteriële activiteit in bodemstrooisel en mest
- stof uit bodemstrooisel en voeder
- stof door de dieren zelf geproduceerd
- niet gedetermineerde reukstoffen

Warmteverlies door

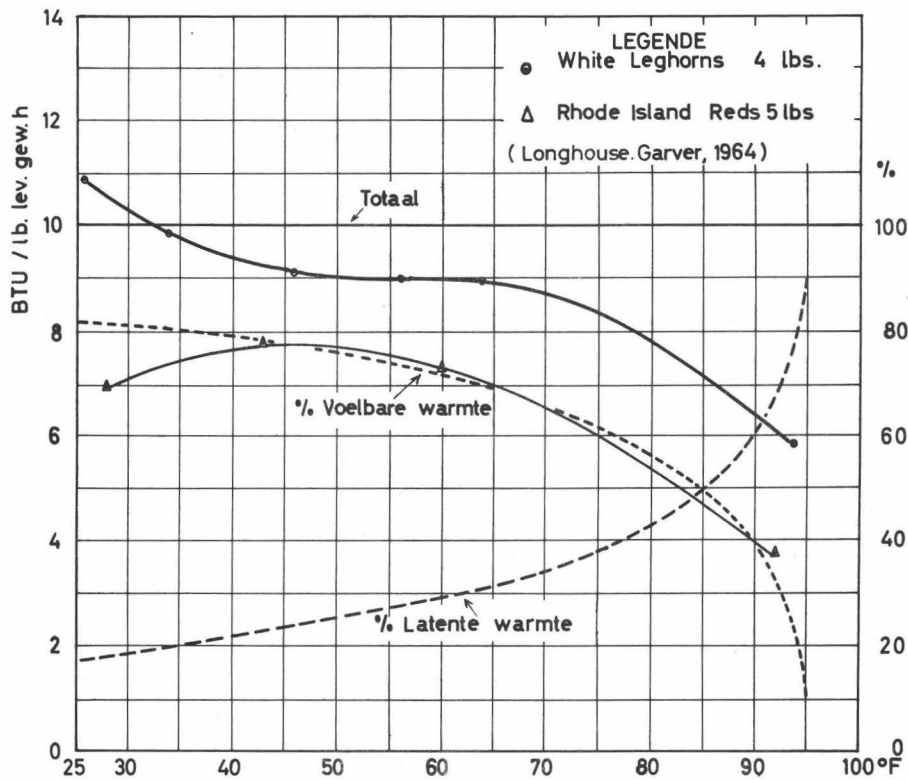
- afvoer van stallucht
- aanvoer van ventilatielucht (winter)
- dak, wanden en vensters
- warmteopsorping bij de verdamping uit mest, bodemstrooisel e.a. (latente verdampingswarmte)

Evacuatie van waterdamp door

- afvoer van stallucht
- diffusie door wanden als gevolg van dampspanningsverschillen

Luchtzuivering door

- aanvoer van verse lucht langs ventilatieinrichting
- afvoer van CO₂, NH₃, stof e.a. door ventilatie
- neerzetting van stof



Warmteafgifte van leghennen in
functie van de luchttemperatuur
figuur 6

Maar ook de R.V. speelt hier nog een rol : hoe hoger de R.V., des te minder latente warmte door het dier wordt vrijgegeven. Daarover zijn echter geen nauwkeurige gegevens bekend.

De stalinrichting zelf heeft een zekere invloed op de beschikbare warmte en de af te voeren waterdamphoeveelheid. In een hok waar bijv. het morswater niet kan worden afgevoerd, zijn bodemstrooisel en mest uiteraard vochtiger, wat in een belangrijkere evaporatie resulteert. De nodige latente verdampingswarmte wordt onttrokken aan de stallucht of beschikbaar gesteld door eventuele fermentatie. Dat deze laatste soms nog een warmteoverschot in het hok kan brengen, werd bewezen door warmtestroommetingen (DEBRUYCKERE, 1964).

Door meerdere onderzoekers wordt dan ook de aandacht getrokken op het feit dat er een verschil in voelbare warmteproductie is overdag en 's nachts.

LONGHOUSE en GARVER (1964) noemen verschillen van 25 %. Ongeveer dezelfde verschillen worden ook aangenomen door BAROTT en OTA (PETIT en DEBRUYCKERE, 1962) en in ASHRAE GUIDE AND DATA BOOK (1964).

OTTO en PECHERT (1963) vermelden dat de voelbare warmte 's nachts gemiddeld op 8/10 van de dagwaarde terugvalt. PETIT en DEBRUYCKERE (1965) vonden voor witte Leghorn een verhoging in warmteproductie overdag van gemiddeld 18 - 20 %. PETIT en NICOLAUS (1965) vonden voor zware moederdieren een gemiddelde toename in voelbare warmteproductie van 100 % gedurende de dag t.o.v. de nachtperiode.

Tal van gegevens zijn in de literatuur beschikbaar over warmte- en waterdampproductie van leghennen, onder normale omstandigheden van voeding, beweging en productie (tabel 5).

Weinig bronnen omschrijven echter voldoende de omstandigheden van het klimaat en de inrichting van het hok, zodat het moeilijk is de gevonden verschillen te verklaren.

Uit de beschikbare gegevens volgt een uitlezing in tabel 5.

Normaal moet ook rekening worden gehouden met het feit dat de warmteafgifte van personen in het hok werkzaam, van lampen, motoren en strooisel, nuttig is voor het stalklimaat.

Na kritische studie van de literatuur, komt het ons gewettigd voor een voelbare warmteproductie van 5 kcal/kg lev.gew. h aan te nemen voor het berekenen van de warmtebalans bij optimale omstandigheden zoals vroeger voorgesteld (13°C, 70 % R.V.).

Als af te voeren waterdamphoeveelheid bij deze omstandigheden, nemen wij 6 g/kg lev.gew.h. Deze 6 g kunnen onderverdeeld worden :

3 g waterdampafgifte van de dieren

3 g uit mest en strooisel.

Uit deze beschouwingen over warmte- en vochtafgifte in leghennen-hokken blijkt, dat maximaal 1 kcal warmte beschikbaar is voor de afvoer van 1,2 g waterdamp (6 g : 5 kcal).

Uit het i - x diagram van Mollier kan worden afgeleid, dat deze hoeveelheid onvoldoende is om de afvoer van het geproduceerde vocht te verzekeren.

referentie	voelbare warmte- productie in kcal/kg lev.gew.h	vochtproductie in g/kg lev.gew.h	bemerkingen
ASHRAE GUIDE and DATA BOOK (1964)	3,88 (dag) 2,77 (nacht)		witte Leghorn en R.I.R. bij 10°C
BARRE (1950)	6,02	2,81 (enkel mestwater)	witte Leghorn
BORCHERT (1961)	3,7	6,3	afgeleid uit literatuurstudie
CARD (1961)	4,4	-	R.I.R. bij 1,7 - 10°C
DIN 18910 (1963)	6,00	3,2	totale warmteafgifte
HILL (1951)	-	3,6 (enkel mestwater)	-
JANSSON, HOLMQVIST en HENRIKSSON (1957)	6,4	-	lichte legrassen van 2 kg
LE ROY (1956)	-	3,7 (enkel mestwater)	-
LONGHOUSE, OTA en ASHBY (1960)	3,65	6,35	witte Leghorn 1,8 kg; 65 % productie
MITCHELL en KELLEY (1933)	5,14	-	White Plymouth Rock bij 19°C; dieren van 1,6 kg
OTA, GARVER en ASHBY (1953)	2,94	5,49	R.I.R. in productie bij 13°C en 83 % R.V., 14 h licht, 10 h duister
	4,2	-	voelbare warmteproductie van witte Leghorn overdag bij 7°C
OTTO en PECHERT (1963)	4,7 2,5 2,2 2,46	- - - 5,41	alle rassen, bij 0°C bij 13°C bij 21°C bij witte Leghorn in productie 61 %, temperatuur 18,6°C, R.V. 76 %
	2,5	4,1	bij 13°C; in geval van een mestbak onder de zitstokken is de beschikbare voelbare warmte ietwat hoger en de waterdampproductie in verhou- ding lager
PARKER (1953)	5,95	4,37	afgeleid uit onderzoek van BRODY, OTA, BAROTT en PRINGLE
PETIT en DEBRUYCKERE (1965)	5,02	5,82	witte Leghorn in productie bij ongeveer 10°C
PETIT en NICOLAUS (1965)	5 - 6	-	zware moederdieren
RAUCH (1960)	-	2,3 - 4,6 (enkel mestwater)	-
SCHIFFEL en SCHMIDT (1959)	5,00	-	-
STEWART en HINKLE (1959)	5,81	3,96	witte Leghorn in productie bij 4,4°C, normale huisves- tingsvoorwaarden
	-	3,48	R.I.R.
TILLEY (1964)	4,85	-	-
WOLFERMANN (1965)	6,16	-	= stalwarmteproductie bij 10°C : voelbare warmte van dieren, warmte van lampen, motoren, strooisel

Overzicht van een literatuurstudie in verband
met voelbare warmte- en vochtproductie in
legghennenhokken

In werkelijkheid gaat nog een gedeelte van de beschikbare warmte verloren langs de wanden. Dit verlies is functie van de k-waarde van de wanden, van de optredende temperatuurverschillen en van de stalbezetting.

Onder harmoniëring van warmte- en vochtbalans wordt verstaan, het gelijktijdig tot stand brengen van evenwicht in productie en afvoer van respectievelijk warmte en vocht, met het oog op de verwezenlijking van het geschikt microklimaat.

Het tekort aan calorieën in leghennenhokken om de harmoniëring van warmte- en vochtbalans te verwezenlijken, kan worden berekend. Een snelle en nauwkeurige aflezing van dit warmtetekort kan ook gebeuren op een door ons opgesteld nomogram, dat elke berekening onnodig maakt (fig. 7).

Gezien de ventilatie normaal geregeld wordt op basis van temperatuur, zal dus, zonder bijkomende verwarming, niet al het geproduceerde vocht worden afgevoerd, zodat het vochtgehalte van strooisel en stallucht bestendig te hoog blijft.

In varkensstallen is de waterdampproductie ongeveer 400 g en de warmteproductie 1200 kcal/G.V.E. h. Metingen bevestigen dat zowel de gewenste temperatuur als R.V. in mestvarkensstallen kunnen bereikt worden zonder bijverwarming (3 beschikbare kcal voor afvoer van 1 g waterdamp).

2.3. DE BEREKENING VAN DE WARMTE- EN VOCHTBALANS

2.3.1. Warmtebalans

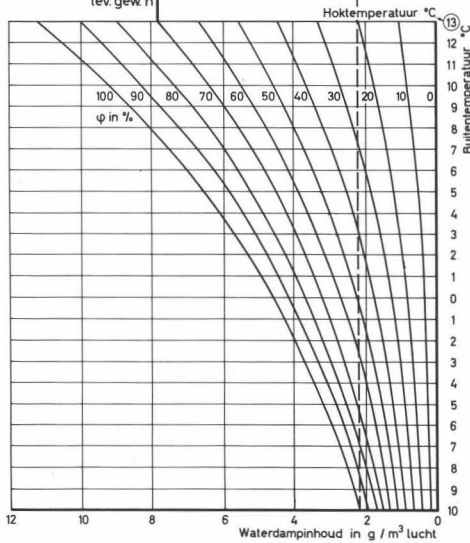
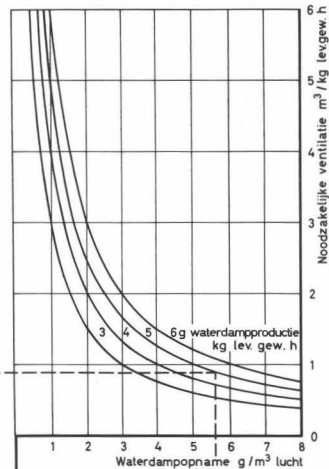
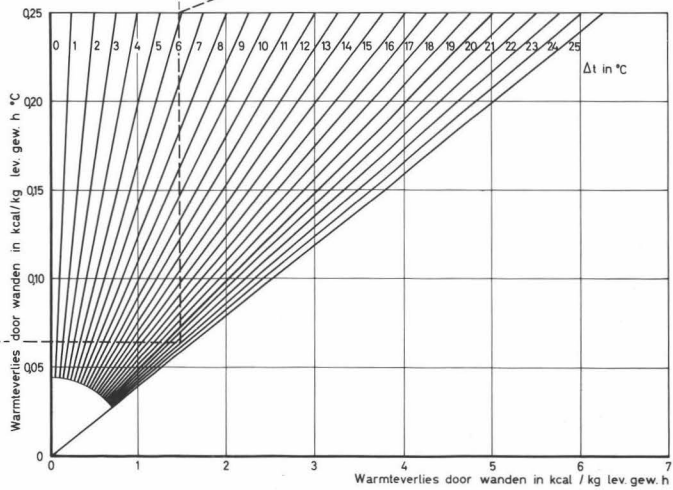
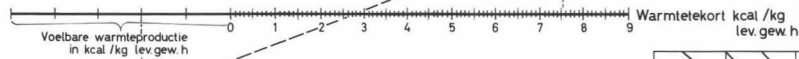
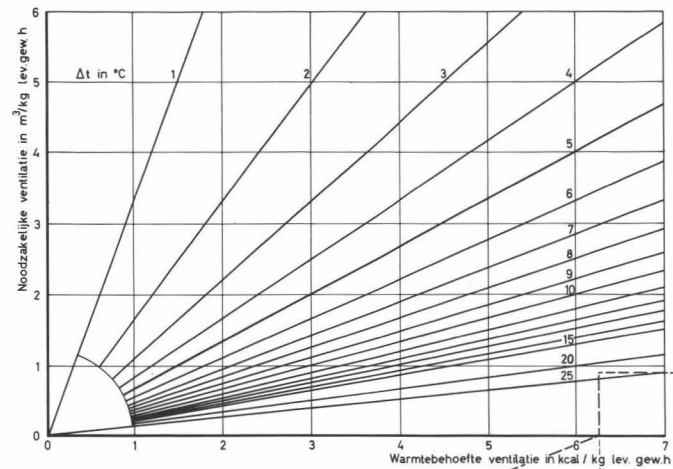
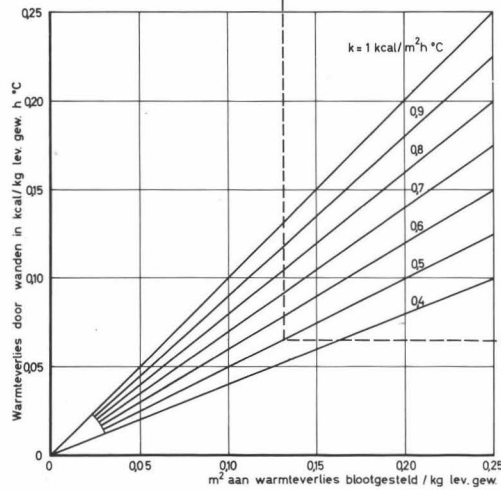
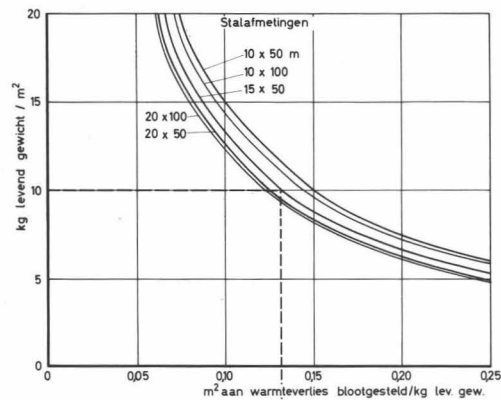
De warmtebalans in pluimveehokken kan door volgende klassieke formules worden uitgedrukt :

$$W = Fk\Delta t + 0,3 V_{\max}\Delta t \quad (1)$$

Hierin is :

W = het aantal kcal dat in de stal gedurende 1 h wordt voortgebracht per kg lev. gew.

Deze warmte kan afkomstig zijn van de dieren, van de fermentatie, van de buitenatmosfeer, van een kunstmatige verwarmingsbron, enz...



Nomogram voor de bepaling van het warmtetekort gedurende de winter in legpluimveehokken

figuur 7

F = wandoppervlakte (in m^2/kg lev. gew.) die aan warmteverliezen is blootgesteld. Hierin is niet begrepen het vloeroppervlak, omdat wij aannemen dat in hokken met bodemstrooisel de warmteverliezen door de vloer verwaarloosbaar zijn of, zoals het zich in de meeste gevallen voordoet, dat de fermentatie in het strooisel zelfs een warmteoverschot geeft dat in de stal terechtkomt.

k = gewogen gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt van de wanden, cijfer dat resulteert uit praktische metingen of bij gebrek daaraan uit theoretische berekeningen.

Δt = temperatuurverschil tussen gemiddelde staltemperatuur en buitentemperatuur (meestal de gemiddelde minimumtemperatuur) waarvoor men de berekeningen wenst uit te voeren.

$0,3$ = gemiddelde soortelijke warmte van droge lucht = $0,24 \times 1,235$ (kcal/ m^3 °C)

V_{max} = de ventilatiehoeveelheid in m^3/kg levend gewicht en per uur, die mag worden doorgevoerd zonder dat temperatuurdaling in de stal optreedt.

Deze formule is alleen juist voor warmtebeweging in stationaire toestand.

Naarmate de stalwanden een groter warmteaccumulerend vermogen hebben of een belangrijkere temperatuurtraagheid, zal de warmtetransmissie, berekend volgens de klassieke formule $Fk\Delta t$, op een gegeven ogenblik bij niet stationaire warmtebeweging minder nauwkeurig zijn.

Het gebruik van de klassieke formule, met vooropstelling van warmtebeweging in stationaire toestand, is ongetwijfeld gerechtvaardigd voor de berekening van het warmtetekort, vermits wij een extreem geval veronderstellen. Wij wensen immers niet de evolutie in warmtestroom en warmtetekort op ieder ogenblik te kennen (waarbij de rol van warmtegeleidingscoëfficiënt en warmtecapaciteit groot is) doch het grootst mogelijke warmtetekort, dat zich kan voordoen (bij een constante minimumtemperatuur van $-10^\circ C$) en waarop de verwarmingsinstallatie dient te worden voorzien.

2.3.2. Vochtbalans

De formule van de vochtbalans luidt :

$$X = V_{\min} (x_i - x_a) \quad (2)$$

Hierin is :

- X = waterdamphoeveelheid, uitgedrukt in g/kg lev. gew. h, die moet afgevoerd worden, wil men vochtaccumulatie in het hok voorkomen.
- V_{\min} = de ventilatiehoeveelheid in m³/kg lev.gew. h, die minstens moet worden voorzien, om de evacuatie van al het geproduceerde vocht te kunnen verzekeren.
- x_i en x_a zijn respectievelijk de absolute vochtigheidsgraad in g/m³ voor binnen- en buitenlucht.
- Deze absolute vochtigheidsgraad (in g/m³) wordt bij benadering door hetzelfde cijfer uitgedrukt als de partiële dampspanning (in mm Hg) in de lucht, waarvan de waarden rechtstreeks op het i - x diagram van Mollier of uit tabellen zijn af te lezen.

Met de optredende drukverschillen wordt geen rekening gehouden, wegens hun gering belang bij klimaatregeling in hokken.

De formules (1) en (2) werden tot een nomogram uitgewerkt, zodat een snel en nauwkeurig antwoord kan worden bekomen over de harmoniëring van warmte- en vochtbalans (fig. 7).

Voor het opstellen van het nomogram werd van de veronderstelling uitgegaan dat 13°C en 70 % R.V. een optimale combinatie vertegenwoordigen voor het stalklimaat bij wintervoorwaarden. Het nomogram kan echter gemakkelijk voor elke andere omstandigheid worden aangepast.

De factoren waarmee rekening wordt gehouden in het nomogram zijn volgende : stallengte en -breedte, isolatie, temperatuur en R.V. van hok- en buitenatmosfeer, warmte- en vochtafgifte van de dieren.

Een uitgetekend voorbeeld op figuur 7, toont hoe de warmtetoevoer, noodzakelijk voor de harmoniëring van warmte- en vochtbalans, kan berekend worden.

Bij afwezigheid van fermentatie in het strooisel, moet de warmtetoevoer voor harmoniëring van warmte- en vochtbalans nog vermeerderd worden met de verdampingswarmte voor de evaporatie van water uit mest en strooisel.

Een overzicht van de toestand voor verschillende omstandigheden wordt gegeven in de tabellen 6 en 7.

De omliggende cijfers in de tabellen beantwoorden aan de voorwaarden, waar zonder bijkomende verwarming gunstig resultaat kan worden bereikt. Daartoe zou de door de ventilatie af te voeren vochthoeveelheid niet meer dan 3 g/kg lev.gew. h mogen bedragen, en moet het thermisch isolatievermogen van de wanden daarenboven goed zijn. Practisch bereikt men dit alleen in batterijhokken met automatische uitmesting.

Niettegenstaande de hogere warmteproductie van de dieren overdag, treedt het warmtetekort voor de harmoniëring van warmte- en vochtbalans evengoed op in deze periode als gedurende de nacht.

Volgende beredenering staat deze hypothese :

Stellen wij dat de buitentemperatuur overdag gelijk is aan 0°C en de R.V. 100 %, 's nachts -10°C en 100 % R.V.

Het hokklimaat wensen wij te houden bij 13°C en 70 % R.V.

De gemiddelde k-waarde van het gebouw zij 0,5 kcal/m² h °C.

Wanneer de voelbare warmteproductie over een etmaal gemiddeld 5 kcal/kg lev.gew. h bedraagt, zal gedurende de 14 daguren 5,5 kcal/kg lev.gew. h aan warmte worden afgegeven, en 's nachts 4,4 kcal/kg lev.gew. h. Daarbij wordt aangenomen dat de warmteproductie overdag 25 % hoger ligt dan gedurende de rustperiode.

Ook de vochtaanvoer is overdag ongetwijfeld hoger dan 's nachts, alhoewel daarover geen juiste cijfergegevens bekend zijn.

Zij de vochtproductie overdag 7 g/kg lev.gew. h en 's nachts 5 g/kg lev.gew. h.

Dag

Warmte die overdag theoretisch verloren gaat door de wanden :

$$13 \times 0,5 \times 0,15 = 0,97 \text{ kcal/kg lev.gew. h}$$

$$(0,15 \text{ m}^2 = \text{wandoppervlakte/kg lev.gew.})$$

$$\text{Dampafvoer/m}^3 \text{ lucht : } 7,8 - 4,6 = 3,2 \text{ g (i - x diagram van Mollier)}$$

$$\text{Nodige ventilatiehoeveelheid : } 7 : 3,2 = 2,2 \text{ m}^3/\text{kg lev.gew. h}$$

$$\text{Warmteverlies door ventilatie : } 2,2 \times 13 \times 0,3 = 8,58 \text{ kcal/kg lev.gew. h}$$

$$\text{Totaal warmteverlies : } 0,97 + 8,58 = 9,55 \text{ kcal/kg lev.gew. h}$$

$$\text{Warmtetekort : } 9,55 - 5,5 = 4,05 \text{ kcal/kg lev.gew. h}$$

buitenklimaat	- 10 °C 100 % R.V.	- 5 °C 100 % R.V.	0 °C 100 % R.V.	+ 5 °C 100 % R.V.	
af te voeren waterdamp in g/kg lev.gew.h	3 6	3 6	3 6	3 6	
hokafmetingen					gemiddelde k-waarde van het hok
10 x 50 m	7,14 10,83	6,21 9,72	5,60 9,24	<u>4,98</u> 8,76	1
	5,41 9,10	<u>4,86</u> 8,37	<u>4,62</u> 8,26	<u>4,38</u> 8,16	0,5
20 x 50 m	6,56 10,25	5,76 9,27	5,27 8,91	<u>4,78</u> 8,56	1
	5,13 8,82	<u>4,63</u> 8,14	<u>4,46</u> 8,10	<u>4,28</u> 8,06	0,5

Warmtebehoefte in kcal/kg lev.gew.h voor het in evenwicht brengen van de vochtbalans bij een stalbezetting van 10 kg/m²; hokklimaat 13°C, 70 % R.V.

tabel 6

buitenklimaat	- 10 °C 100 % R.V.	- 5 °C 100 % R.V.	0 °C 100 % R.V.	+ 5 °C 100 % R.V.	
af te voeren waterdamp in g/kg lev.gew.h	3 6	3 6	3 6	3 6	
hokafmetingen					gemiddelde k-waarde van het hok
10 x 50 m	5,99 9,68	5,31 8,82	4,95 8,59	4,58 8,36	1
	4,84 8,53	4,41 7,92	4,30 7,94	4,18 7,96	0,5
20 x 50 m	5,41 9,30	5,01 8,52	4,73 8,37	4,45 8,23	1
	4,65 8,34	4,26 7,77	4,19 7,83	4,11 7,89	0,5

Warmtebehoefte in kcal/kg lev.gew. h voor het
in evenwicht brengen van de vochtbalans bij een
stalbezetting van 15 kg/m²; hokklimaat 13°C, 70 % R.V.

tabel 7

Nacht

Warmtetransmissieverliezen : $23 \times 0,5 \times 0,15 = 1,72 \text{ kcal/kg lev.gew.h}$

Dampafvoer/ m^3 lucht : $7,8 - 2,2 = 5,6 \text{ g}$

Nodige ventilatiehoeveelheid : $5 : 5,6 = 0,89 \text{ m}^3/\text{kg lev.gew.h}$

Warmteverlies door ventilatie : $0,89 \times 23 \times 0,3 = 6,14 \text{ kcal/kg lev.gew.h}$

Totaal warmteverlies : $1,72 + 6,14 = 7,86 \text{ kcal/kg lev.gew.h}$

Warmtekort : $7,86 - 4,4 = 3,46 \text{ kcal/kg lev.gew.h}$

Bij deze welbepaalde binnen- en buitenomstandigheden, die wij als karakteristiek mogen beschouwen voor de winterstalperiode, is het warmtekort voor het bereiken van de harmoniëring van warmte- en vochtbalans ongeveer hetzelfde dag en nacht.

Er is dus een blijvend tekort, indien wij de afvoer van al de geproduceerde waterdamp willen waarborgen; de vochttoestand kan dus niet naar behoren geregeld worden zonder bijverwarming.

Gezien de verhouding warmteverlies langs de wanden en warmteverlies door ventilatie, is het minder aangewezen de isolatie op te drijven, dit roept trouwens onmiddellijk een economisch probleem op, gezien het gestelde doel er niet door kan worden bereikt.

De thermostatisch gestuurde ventilatie in onverwarmde hokken is 's nachts meer beperkt dan overdag.

De warmtebalans laat inderdaad volgende ventilatie toe :

$$\text{gedurende de dag : } \frac{5,5 - 0,97}{0,3 \times 13} = 1,16 \text{ m}^3/\text{kg lev.gew.h}$$

$$\text{gedurende de nacht : } \frac{4,4 - 1,72}{0,3 \times 23} = 0,38 \text{ m}^3/\text{kg lev.gew.h}$$

Indien wij deze cijfers vergelijken met de bovenberekende nodige ventilatie voor totale vochtafvoer, dan bedraagt de dagventilatie

$$\frac{1,16 \times 100}{2,2} = 52 \%, \text{ en de nachtventilatie } \frac{0,38 \times 100}{0,89} = 42\% \text{ van het noodzakelijke.}$$

2.3.3. Enkele conclusies

- Het warmtetekort bedraagt in de nadeligste omstandigheden ongeveer 5 kcal/kg lev.gew.h of evenveel als door de dieren aan voelbare warmte wordt geproduceerd.
- Het warmtetekort in de hokken wordt minder naarmate de stal breder en langer is.
- De stalbezetting heeft een belangrijke invloed : hoe groter de dierbezetting per m^2 , des te geringer de warmteverliezen per kg lev.gew.h door de wanden en des te meer warmte relatief beschikbaar blijft voor ventilatie. De bezetting wordt echter beperkt door de noodzakelijke minimumoppervlakte per dier en door het gevaar voor hoge L.S. dat gepaard gaat met de groter wordende ventilatiebehoefte.
- De isolatie van het hok speelt een belangrijke rol; toch heeft het weinig nut een kleinere k-waarde na te streven dan deze in het rekenvoorbeeld onder 2.3.2.
- De grootste warmteverliezen treden immers op, door het in evenwicht brengen van de vochtbalans langs de ventilatie. Het verminderen van de transmissieverliezen veronderstelt een evenredige kostentoeename, terwijl het effect steeds kleiner wordt.
- De warmteverliezen door het in evenwicht brengen van de vochtbalans, hangen af van de af te voeren vochthoeveelheid, van het hokklimaat dat wordt nagestreefd en van de heersende buitenomstandigheden.
- Zelfs bij een keuze van de meest voordelige voorwaarden op het nomogram, blijft de warmtebalans steeds negatief, indien men in niet verwarmde hokken al het geproduceerde vocht door de ventilatie wil afvoeren.
- Gezien echter de ventilatie meestal op warmtebalans wordt geregeld zal, bij afwezigheid van bijkomende verwarming, niet al het geproduceerde vocht worden afgevoerd, zodanig dat, zoals ook uit het onderzoek zal blijken, de R.V. in het hok bestendig te hoog blijft, evenals het vochtgehalte van het strooisel.
- Wanneer door regelmatige mestafvoer een belangrijk deel van het geproduceerde water langs een andere weg dan de ventilatie kan worden

verwijderd, dan is het warmtetekort voor harmoniëring van warmte- en vochtbalans aanzienlijk geringer. Dit is het geval in hokken waar de verse mest onder de zitstokken regelmatig door een mest-scaper kan worden verwijderd. Dit verklaart ook waarom in batterijhokken zonder verwarming kan worden gewerkt.

- Wij gaan hierbij uit van de veronderstelling dat het vochttransport door de wanden door een doelmatig dampscherm zoveel mogelijk dient te worden voorkomen.
- Condensatie brengt evenmin een belangrijke vereenvoudiging, daar het condenswater in een pluimveehok moeilijker kan worden afgevoerd dan in rundvee- of varkensstallen.
- Ook de geringe hoeveelheid water die in het strooisel mag blijven om de stofvorming te beperken, biedt geen afdoende oplossing voor het vochtprobleem. Verse mest bevat namelijk nagenoeg 900 % vocht op droog-gewicht dat moet verminderen tot ongeveer 43 % vocht op droog-gewicht (= 30 % op nat-gewicht).

2.4. BESCHRIJVING VAN DE VOORNAAMSTE ONDERZOCHE LEGPLUIMVEEHOKKEN

Sedert de aanvang van het onderzoek werd, in overleg met een vooraanstaand kweker, een reeks hokken met verschillend klimaatregelingssysteem ingericht.

Uit 15 hokken, elk voor 2.000 tot 3.000 dieren, werden 7 hokken gekozen met belangrijke verschillen op gebied van klimaatregeling. Deze hokken worden hierna eenvoudigheidshalve door volgende symbolen voorgesteld : O/3, O/4, O/5, O/6, O/7, N/2 en N/7.

De vijf onderzochte O-hokken waren bevolkt door lichte moederdieren met een bezetting van 3 - 4 per m².

De onderzochte N-hokken waren bevolkt met zware moederdieren met een bezetting van 3 - 4 per m².

De O-hokken hadden geen verwarmingsinstallatie tijdens het onderzoek.

Een der onderzochte N-hokken was uitgerust met een onrechtstreekse luchtverwarming, het andere met vloerverwarming.

Bijzonderheden over oriëntatie, afmetingen, isolatie en gebruikte bouwmaterialen, indeling en ventilatiesystemen zijn op bijgaande figuren weergegeven (fig. 8 tot 14).

De voor ons onderzoek belangrijke constructieve aspecten worden overzichtelijk samengevat in tabel 8.

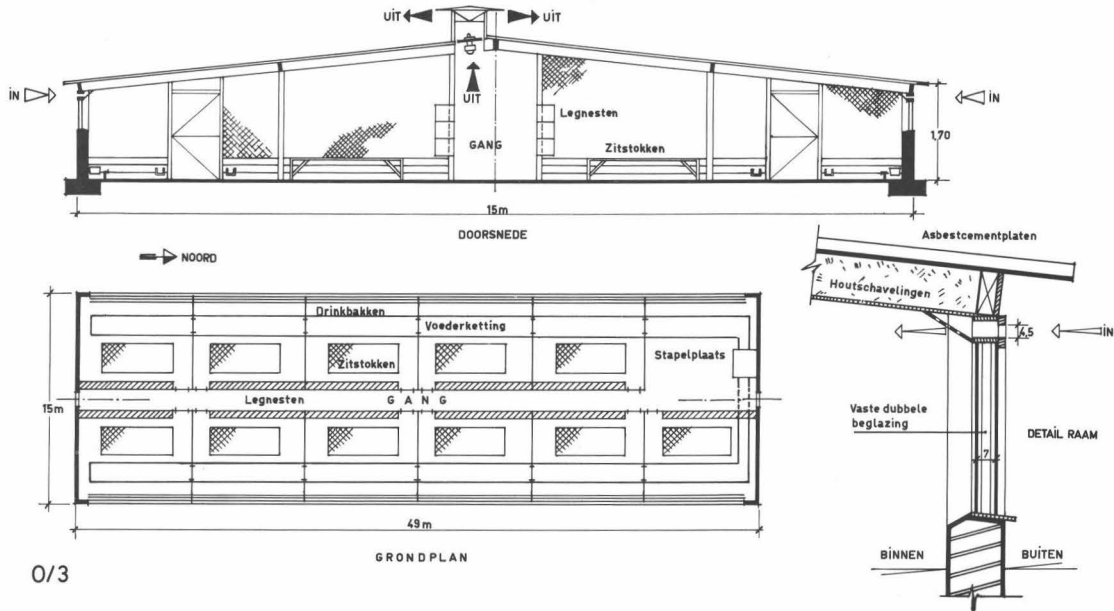
Dit onderzoek werd, in zover het noodzakelijk bleek, aangevuld in het laboratorium en in andere pluimveehokken.

Productie, voederomzet, ziekte en sterfte, die normaal als beoordelingsnormen gelden, konden onmogelijk worden gebruikt omdat :

1. de dieren in de onderzochte hokken tot twee verschillende rassen behoorden;
2. om redenen van praktische aard de dieren in de verschillende hokken niet gelijktijdig werden opgezet;
3. sommige diergroepen langer in productie werden gehouden dan andere;
4. de voedersamenstelling niet steeds dezelfde was in de verschillende hokken.

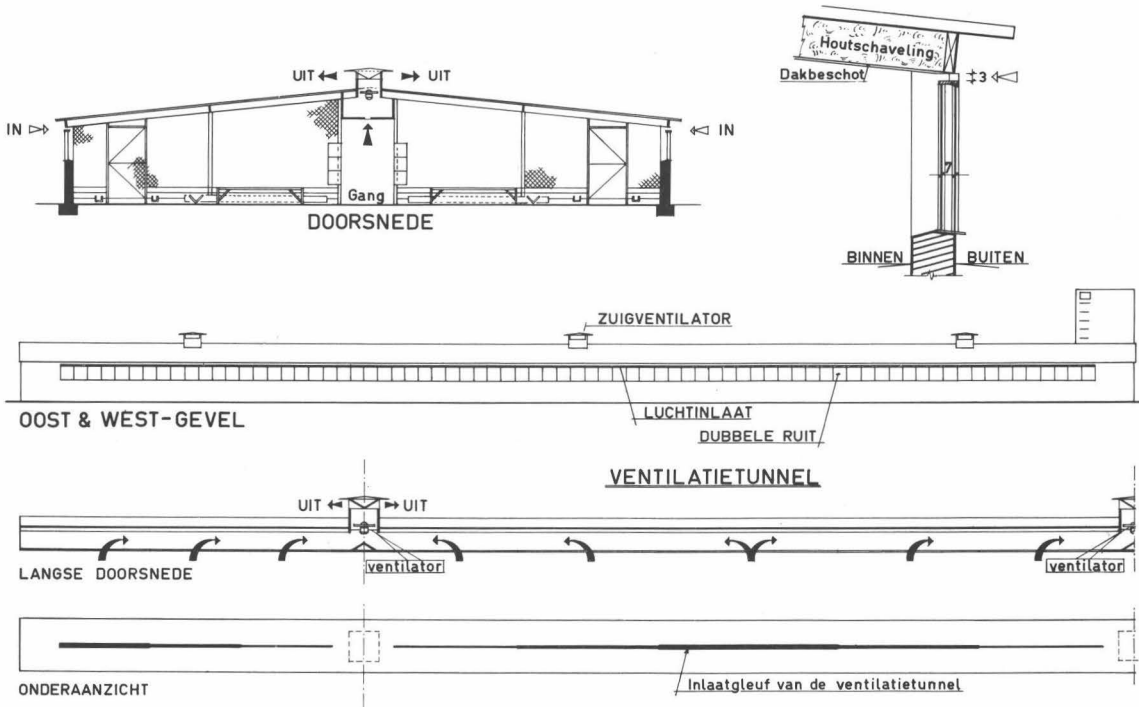
Dit euvel leek ons nochtans niet van overwegend belang. Door minder nadruk te leggen op het biologisch aspect, verplichtte het ons nochtans meer technische normen te vinden en aan te wenden.

Dit onderzoek heeft niet als doel een oplossing te brengen van de klimaatregelingsproblematiek in zijn geheel, doch veeleer een persoonlijke bijdrage te leveren voor het uit de weg ruimen van bepaalde foutieve stellingen, het aanvullen van de kennis over het microklimaat in de hokken en mogelijks een bruikbare methodiek op punt te stellen voor de identificatie van het ventilatiepatroon.



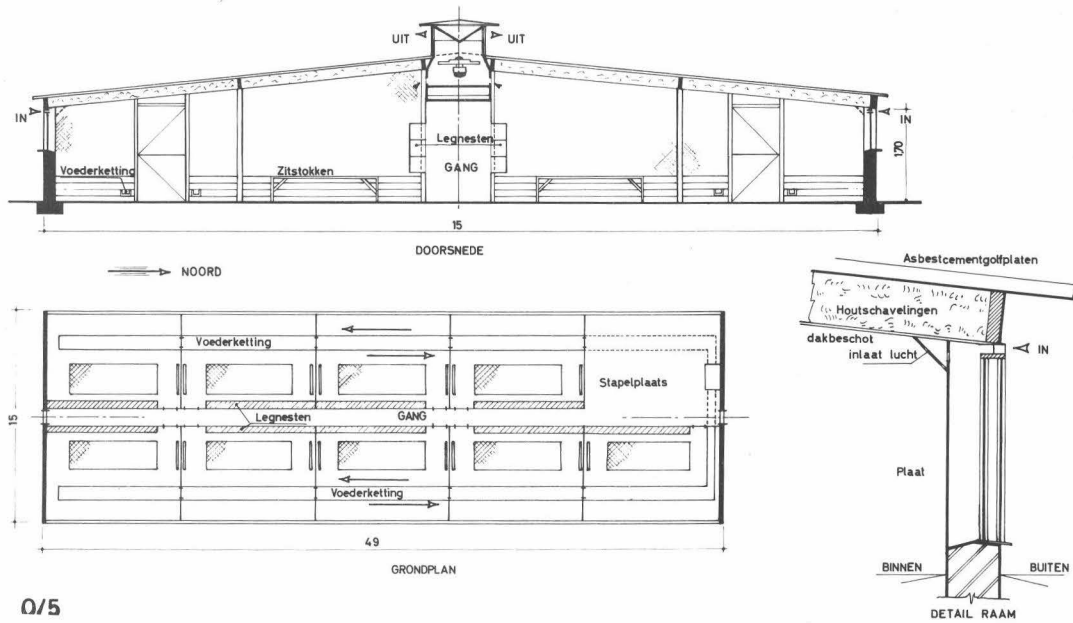
0/3

Plattegrond en doorsnede van hok 0/3
(zie voetnota tabel 8)
figuur 8

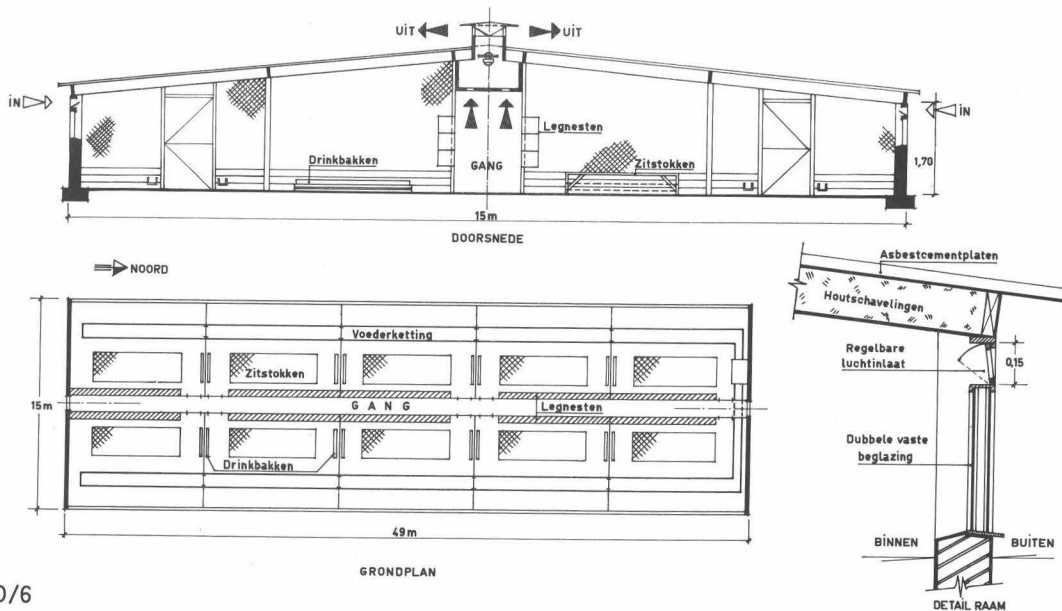


0/4

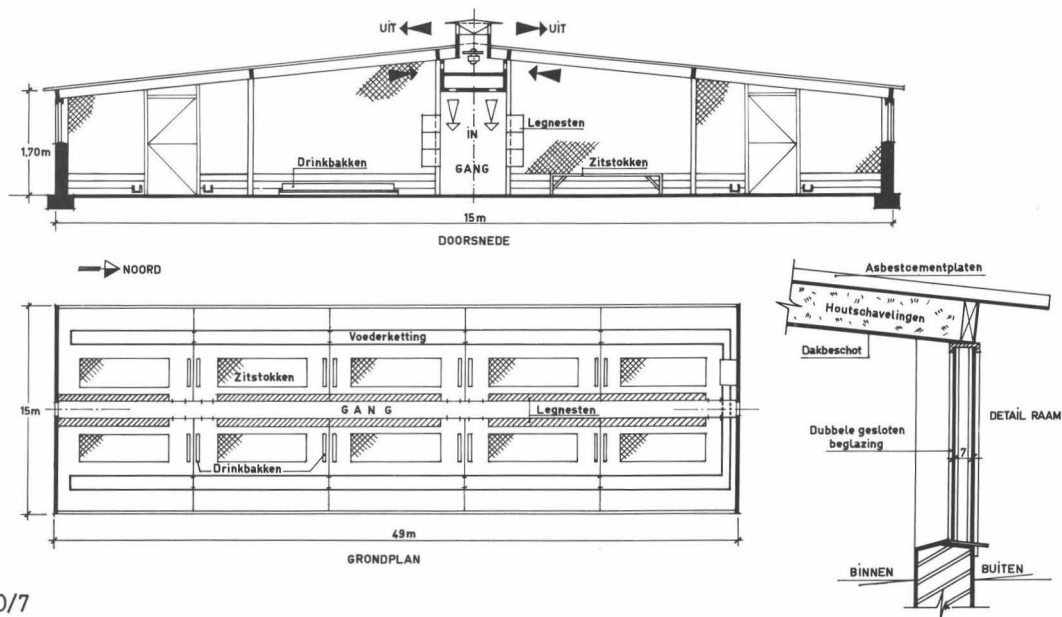
Doorsnede van hok 0/4 en detail van
het ventilatiesysteem
figuur 9



Plattegrond en doorsnede van het hok 0/5
figuur 10

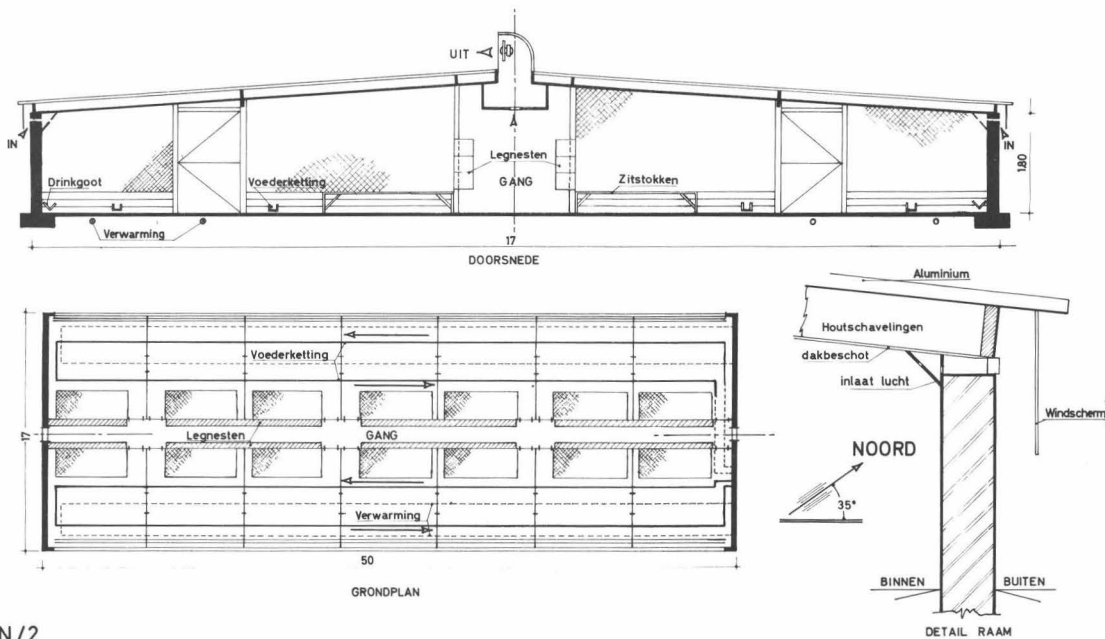


Plattegrond en doorsnede van het hok 0/6
figuur 11



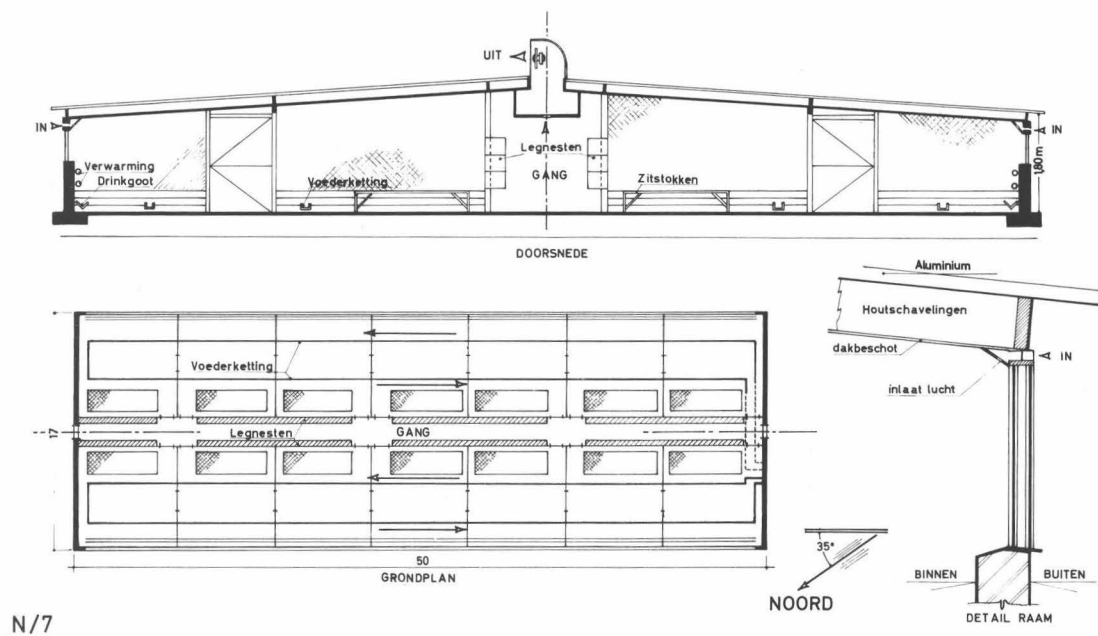
0/7

Plattegrond en doorsnede van het hok 0/7
figuur 12



N/2

Plattegrond en doorsnede van het hok N/2
figuur 13



Plattegrond en doorsnede van het hok N/7
figuur 14

hok	orien- tatie	vensters	aantal thermo- staten	inlaat	lucht- stroom- richter	afzuig- kanaal	hokbreedte in m	verwar- ming	mest- scraper	ras Z (zwaar) L (licht)	dakconstructie	wandconstructie
O/3	N - Z	+	1	gleuf zijwand	- ✖	-	15	-	-	L	asbestcement, houtkrullen, cellulose- asbest	19 cm holle slakkenbeton- stenen
O/4	N - Z	+	1	gleuf zijwand	-	+	15	-	-	L	idem	idem
O/5	N - Z	+	1	gleuf zijwand	+	+	15	-	-	L	idem	idem
O/6	N - Z	+	1	rechth. zijwand	-	+	15	-	-	L	idem	idem
O/7	N - Z	+	1	onderste deel centr. kanaal	-	+	15	-	-	L	idem	idem
N/2	NO-ZW	-	3	gleuf zijwand	+	+	17	+ vloer	+	Z	aluminium, houtkrullen, cellulose- asbest	2 x 9 cm volle slakken- betonstenen + 8 cm rotswol
N/7	NO-ZW	+	3	rechth. zijwand	+	+	17	+ lucht	-	Z	idem	idem

Overzicht van enkele constructiedetails in de onderzochte hokken

tabel 8

✖ Voor de waarnemingen vermeld onder 3.2.6. en 4.3.2. waren de inlaatopeningen van O/3 bekleed met luchtstroomrichter.

HOOFDSTUK III

DE PROBLEMATIEK VAN DE WINTERVENTILATIE

3.1. FUNDAMENTELE AERODYNAMISCHE ASPECTEN

De ventilatie is het actief deel van de klimaatregeling in de stallen. Haar taak bestaat erin schadelijke damp, gassen en stof door verdunning binnen de toelaatbare grenzen te houden en verse lucht, onder comfortvoorwaarden, in de verblijfszone van de dieren aan te voeren. In de zomer is zij in de eerste plaats een temperatuurregelaar.

De berekende luchtverversing dient door een efficiënt ventilatiesysteem te worden verwezenlijkt. Dit veronderstelt o.m. een grondige kennis en controle van luchtstromingen en ventilatiepatroon.

De constructieonderdelen die de luchtstromingen beheersen, zullen hierna worden bestudeerd. Als belangrijkste kunnen worden vermeld :

- luchtinlaatopeningen;
- luchtafvoeropeningen en ventilatoren;
- ventilatieregelapparatuur.

De wetenschap die zich met de ventilatieproblemen bezighoudt, is nog zeer jong. BATURIN (1959) schrijft daarenboven terecht : "Die verschiedenen Aufgaben der Lüftungstechnik sind äusserst kompliziert und häufig analytisch nicht zu lösen. Man muss deshalb oft zum Experiment greifen".

De praktische mogelijkheden voor mechanische stalventilatie zijn als volgt te catalogeren :

- onderdrukventilatie;
- overdrukventilatie;
- combinatie van onderdruk- en overdrukventilatie.

Meestal wordt voor luchtverversing van dierlijke huisvesting onderdrukventilatie toegepast. In deze dissertatie wordt dan ook vooral aan deze techniek aandacht besteed. Deze keuze betekent

evenwel geen veroordeling van de andere systemen; de beperking tot de studie van de onderdrukventilatie kan worden gerechtvaardigd door de belangrijkheid van de toepassing ervan en wegens de praktische onmogelijkheid om hier alle oplossingen voor te dragen.

De inlaatopeningen zijn van het grootste belang, omdat daarlangs de verversingslucht in het hok wordt aangevoerd. De intredende luchtstralen bezitten andere eigenschappen dan de stallucht. Deze stroken niet noodzakelijk met de eisen van het dierlijk comfort op gebied van temperatuur, luchtsnelheid, relatieve luchtvochtigheid, enz., zodat bepaalde aanpassingen moeten plaatsgrijpen, vooraleer de luchtstroom de verblijfszone van de dieren bereikt.

Daarom ook wordt de inlaat meestal voorzien op een hoogte van minstens 1,5 m in de zijwanden.

Ook de uitlaatopeningen dienen aan bepaalde voorwaarden te voldoen. Daar waterdamp en stalgassen zich ophopen in de hoogste punten van het hok (hoofdstuk IV), is het normaal de afvoer op deze plaatsen te voorzien.

Er dient verder aandacht besteed aan de uniforme afvoer van de verbruikte stallucht overal in het hok, wil men de zogenaamde dode zones, waar praktisch geen luchtbeweging optreedt, vermijden.

De kenmerken van en de afstand tussen de ventilatoren spelen daarin een belangrijke rol (fig. 20).

Ook de regelapparatuur kan in bepaalde gevallen door wijziging van luchtsnelheid bij de inlaat het ventilatiepatroon beïnvloeden. (fig. 16).

3.1.1. Luchtinlaatopeningen

Onderzoek over ventilatieluchtstromingen in hokken is uiterst schaars en de beschikbare literatuurgegevens berusten meestal op empirisme. Deze dissertatie beoogt geenszins een studie van de aërodynamica van de ventilatieluchtstraal als dusdanig; dit alleen zou trouwens een omvangrijk studiewerk in het laboratorium veronderstellen. Ons doel bestaat er evenwel in, de ventilatieluchtstralen die in pluimveehokken optreden, op wetenschappelijke grondslag te identificeren en te verklaren, om zodoende de nodige aanpassingen te kunnen

plannen en het resultaat ervan te controleren. Voor de studie van enkele fundamentele aspecten van dit probleem zullen wij beroep doen op onderzoek dat door verschillende vorsers werd verricht op het gebied van de ventilatie van industriële gebouwen.

BATURIN (1959) en enkele andere onderzoekers hebben er in de jongste jaren toe bijgedragen de technische karakteristieken van de ventilatieluchtstralen beter te leren kennen. Aan de hand van hun bevindingen hebben wij getracht een theorie op te bouwen voor de stalventilatie en de daaruit resulterende stellingen door eigen experimenteel onderzoek te bevestigen en te interpreteren.

De eenvoudigste ventilatieluchtstraal is deze gevormd door een ronde doorlaatopening. Deze luchtstraal wordt vrije ronde straal genoemd. De wetten die voor een ronde straal gelden, worden ook toegepast voor vierkante en zelfs voor rechthoekige openingen met gering verschil tussen beide zijden.

Het algemeen snelheidsprofiel voor enkele doorsneden van de ventilatiestraal wordt in figuur 15 opgetekend. Naast de beweging van de luchtdeeltjes in axiale richting (v_x), treedt, als gevolg van de turbulentie, ook een dwarsbeweging op (d.L.S.). De luchtdeeltjes die zich in dwarsrichting verplaatsen, komen in botsing met deze uit het omringende medium, aan dewelke zij een deel van hun energie overdragen, zodat die eveneens in de luchtstroom worden betrokken. Beide bewegingsrichtingen geven aanleiding tot het fenomeen van "bijmenging", ook "inductie" genaamd, dat samengaat met een uitbreiding van de luchtstraal in de ruimte.

De graad van inductie of bijmenging hangt in de eerste plaats af van de turbulentiegraad in de stroming en verder ook van de diameter van de luchtstraal.

De verplaatste totale luchthoeveelheid in een vrije ronde straal op een afstand van x van de inlaat, kan volgens BATURIN (1959) worden berekend uit volgende formules :

$$L'_x = L'_0 \left[1 + 1,52 \frac{ax}{d} + 5,28 \left(\frac{ax}{d} \right)^2 \right] \quad (3)$$

De formule (3) is toepasselijk in de eerste helft van de luchtstraal, zolang de lichtsnelheid op de as gelijk blijft aan de intredesnelheid. De volgende formule (4) geldt voor het overige deel van de luchtstraal :

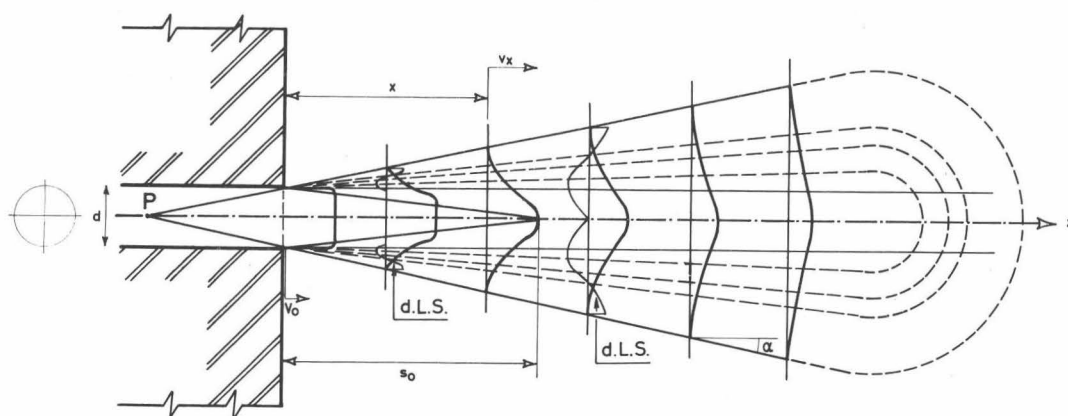
$$L'_x = L'_0 \left[4,36 \left(\frac{ax}{d} + 0,145 \right) \right] \quad (4)$$

L'_x en L'_0 zijn respectievelijk de verplaatste hoeveelheden per tijdseenheid door een doorsnede op een afstand x van de inlaat en door de inlaat zelf.

a = turbulentiecoëfficiënt.

d = de diameter van de inlaat.

Hoe groter de afstand van de inlaat tot een willekeurige doorsnede van de straal, des te aanzienlijker het aantal deeltjes dat uit het omringende medium in de straal wordt bijgemengd : de gemiddelde L.S. in de straal wordt kleiner en de temperatuur hoger.



Ventilatiestraal met karakteristieken
figuur 15

In figuur 15 wordt het snelheidsprofiel voor enkele doorsneden van de luchtstraal opgetekend. Door het verbinden van alle punten met gelijke lichtsnelheid, bekomen wij isovellen (lijnen van constante

luchtsnelheid). Gezien de kegelvormige uitbreiding, benadert een doorsnede door de langsas van de straal, de algemene vorm van een gelijkbenige driehoek.

Een willekeurige isovel in de straalddoorsnede vertoont een analoge figuur. Naarmate de beschouwde snelheid hoger is, wordt de overeenkomstige tophoek (P in fig. 15) scherper, en zijn de benen van de hoek (isovellen) dichter bij de stand evenwijdig aan de bissectrice van de tophoek of aan de richting van de luchtstroming.

De luchtstroming heeft daarentegen de richting van de normale op de raaklijn in het midden van de korte gebogen zijde van de isovellenfiguur.

Hieruit kan ook de optredende snelheidsgradiënt in de voortbewegingsrichting van de luchtstraal worden afgeleid: meestal een langzame snelheidsafname. Loodrecht op de bewegingsrichting van de ventilatiestraal, gebeurt de daling van luchtsnelheid zeer vlug.

Ons steunend op deze vaststellingen, mogen wij terecht verwachten, uit de opmetingen van de luchtsnelheid en door het uittekenen van de isovellen nabij de inlaatopeningen, de baan van de luchtstroming te kunnen vastleggen. Dit geldt vanzelfsprekend slechts voor ver-reikende luchtstralen, waarbij de afgelegde weg van de deeltjes volgens de y-as zeer klein is t.o.v. de verplaatsing volgens de x-as.

De temperatuur van de ventilatieluchtstraal is lager dan deze van het omringende medium. De hoogste temperatuur in de straal wordt aangetroffen op de kegelmantel, de laagste op de as van de kegel. Tussentussen stelt zich een temperatuurgradiënt in, die o.m. functie is van de turbulentiegraad. Zoals in willekeurige doorsneden van de luchtstraal snelheidsprofielen werden opgetekend, zouden dus ook temperatuurprofielen kunnen worden voorgesteld. Het leek ons dan ook mogelijk en doeltreffend uit temperatuurmetingen, die eenvoudiger en precieser door te voeren zijn dan L.S.-metingen, verdere inlichtingen te bekomen over de aard van de optredende luchtstromingen.

Dit onderzoek, vooral in de nabijheid van de inlaat, is zeer belangrijk, omdat juist in deze zone van de stal de verversingslucht wordt voorbereid om in contact te worden gebracht met de dieren.

De wetten, geldig voor een vrije vlakke straal, stromend uit een langgerekte rechthoekige opening, zijn enigszins verschillend van deze voor een vrije ronde straal. De inductie is inderdaad alleen mogelijk aan het boven- en ondervlak van de straal; dit in tegenstelling met de ronde straal waar de inductie over de ganse omtrek kan plaatsgrijpen.

Een luchtstraal, voortbewegend langs een wand, mag worden aanzien als de symmetrische helft van een straal komend uit een denkbeeldige opening die dubbel hoog is als in werkelijkheid (BATURIN, RECKNAGEL, e.a.). Een dergelijke luchtstraal wordt halfstraal genoemd.

In een begrensde ruimte zoals een hok, ontstaan, op een zekere afstand van de hoofdluchtstroom, stromingen in tegengestelde zin. Deze worden secundaire luchtstromingen of nevenluchtstromingen genoemd.

Onder secundaire luchtbeweging wordt derhalve verstaan, deze lucht-beweging die ontstaat ten gevolge van de inductie in de primaire of hoofdluchtstroom.

Sommige auteurs hebben formules uitgewerkt waardoor het mogelijk wordt de invloed van de zwaartekracht op de baan van een niet-isotherme vrije luchtstraal te benaderen.

Het kengetal van Archimedes, dat daarbij een bijzonder belangrijke rol speelt, kan worden berekend als volgt (BATURIN, 1959) :

$$Ar = \frac{\Delta \rho}{Fr \rho} \quad (5)$$

$$\text{waarin } Fr = \text{kengetal van Froude} = \frac{v^2}{g l} \quad (6)$$

(geeft verband tussen zwaarte- en traagheidskrachten)
(dimensieloos)

$$\rho = \frac{\gamma}{g} = \text{soortelijke massa} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{\text{sec}^2}{\text{m}} \right) \quad (7)$$

$\Delta \rho$ = verschil in soortelijke massa van intredende lucht en

omringend medium $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{\text{sec}^2}{\text{m}} \right)$

γ = soortelijk gewicht (kg/m^3)

g = versnelling zwaartekracht (m/sec^2)

l = lengteafmeting (m)

v = luchtsnelheid (m/sec)

daaruit volgt :

$$Ar = \frac{\Delta\rho}{Fr\rho} = \frac{gl\Delta\rho}{v^2\rho} = \frac{gl\beta\Delta t}{v^2} = \frac{gl\Delta t}{v^2 T} \quad (8)$$

β = uitzettingscoëfficiënt van de lucht = $1/T$

T = absolute temperatuur in $^{\circ}\text{K}$

Δt = verschil in temperatuur van luchtstraal en omringend medium

Toegepast op een ventilatiestraal uit een ronde doorlaat met diameter d , aanvangssnelheid v_o , luchttemperatuur in de straal bij de inlaat t_o , temperatuur van het omringend medium t_u , wordt vergelijking (8) :

$$Ar = \frac{g d (t_o - t_u)}{v_o^2 T_u} \quad (9)$$

De algemene vergelijking voor de berekening van de baan van een vrije vlakke straal luidt volgens BATURIN (1959) :

$$\frac{\bar{y}}{Ar} \sqrt{\frac{T_u}{T_o}} = \frac{0,226}{a^2} (a\bar{x} + 0,205)^{5/2} \quad (10)$$

T_u = absolute temperatuur van het medium waarin de luchtstraal zich uitbreidt

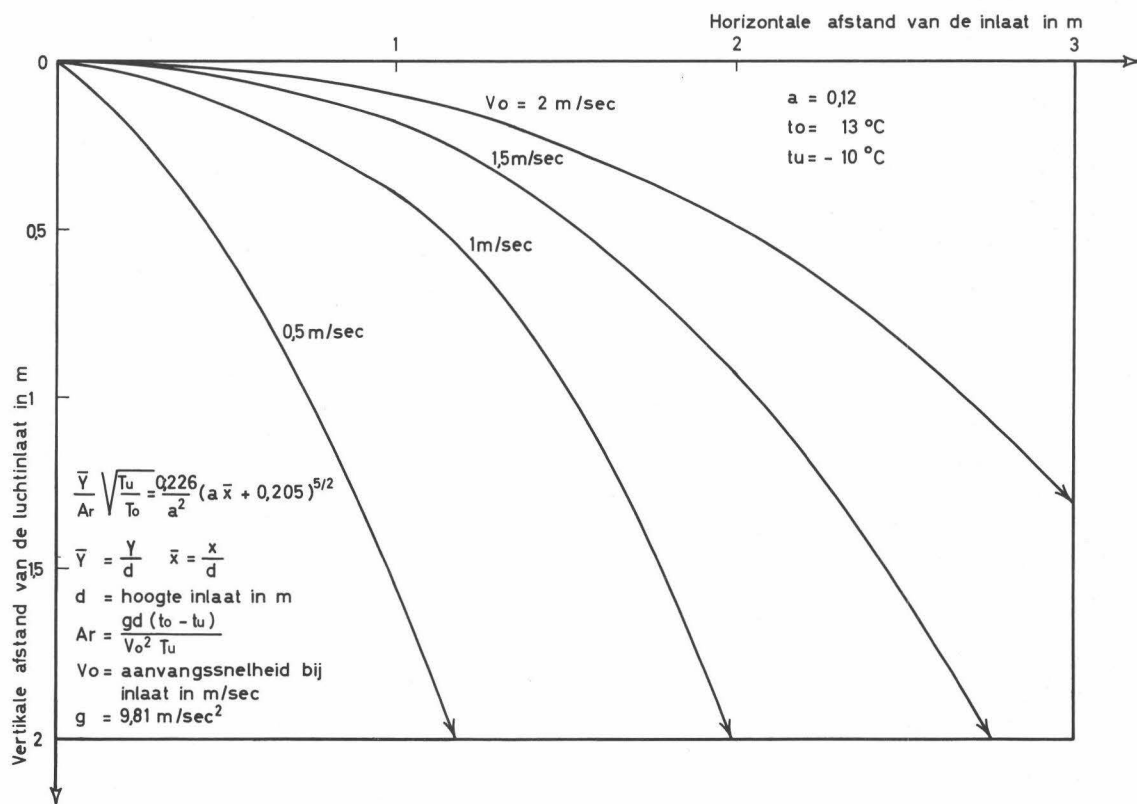
T_o = absolute temperatuur van de luchtstraal bij verlaten van de inlaatopening

$\bar{y} = \frac{y}{d}$ y = de verplaatsing van de straal volgens de y -as

$\bar{x} = \frac{x}{d}$ x = de horizontale afstand van een bepaald punt in de straal tot de inlaat

a = turbulentiecoëfficiënt = 0,09 tot 0,20 voor een vlakke straal naargelang vorm, afmetingen en inrichting van de doorlaatopening (BATURIN, 1959).

De figuur 16 toont de baan van de vrije vlakke straal in functie van de aanvangssnelheid voor een temperatuurverschil : $t_o - t_u = 23^\circ\text{C}$.



Invloed van de zwaartekracht op
de baan van een vlakke luchtstraal

figuur 16

BATURIN (1959) kwam tot de bevinding dat een vrije vlakke ventilatiestraal een geringere afbuiging vertoont onder invloed van de graviteit dan een ronde straal.

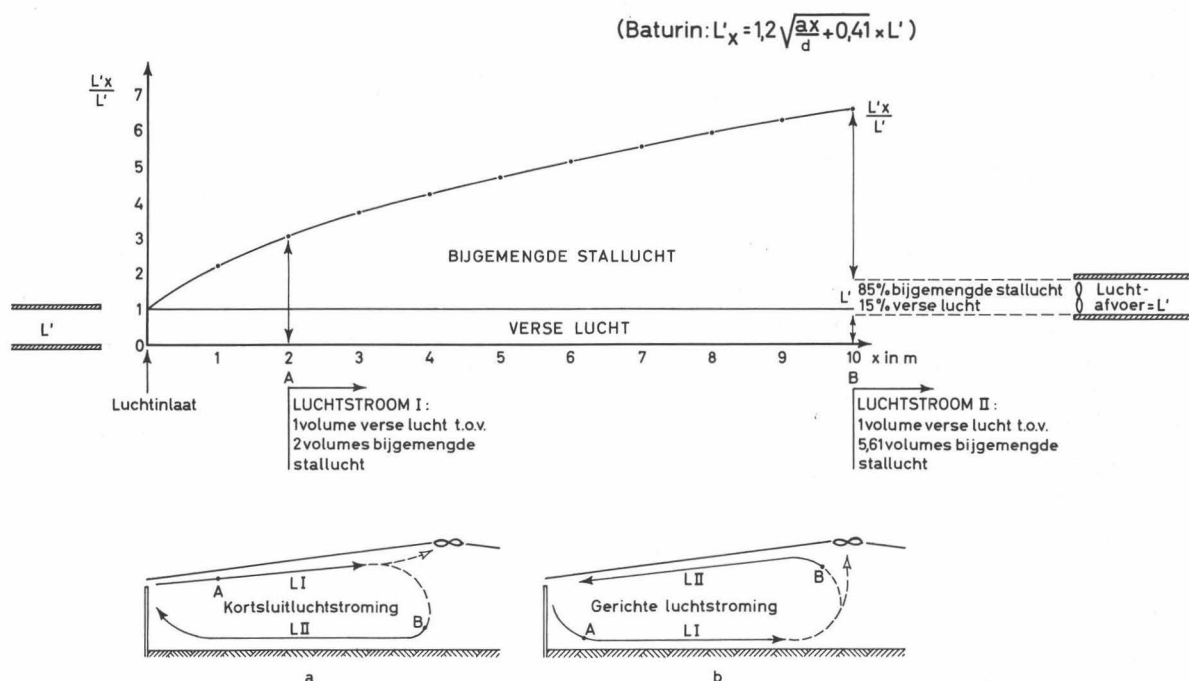
De baan van een luchtstraal die zich tegen een vlakke wand voortbeweegt (vlakke halfstraal) zal begrijpelijkerwijze nog minder beantwoorden aan de bovenbeschreven algemene vergelijking, die betrekking heeft op de vrije vlakke straal. Herhaaldelijk kon tijdens ons onderzoek worden vastgesteld, dat de luchtstroming langs de dakhelling naar

omhoog beweegt, niettegenstaande de temperatuur van de luchtstraal lager was dan deze van het omringend medium. Dit is het gevolg van de eenzijdige inductie langs het ondervlak van de luchtstraal. Langs de bovenzijde is, wegens de aanwezigheid van het dakbeschot, elke inductie uitgesloten.

Taak van de inlaatopeningen bij stalventilatie

1. De aangevoerde verse lucht door een luchtstroomrichter in de oponthoudszone van de dieren brengen, met het oog op een efficiënte ventilatie.

De figuur 17 toont de invloed van de afgelegde weg van de luchtstroom op de theoretische luchtsamenstelling in de verblijfszone van de dieren. Verder is het ook duidelijk dat bij kortsluitluchtstroming een gedeelte van de aangevoerde verse lucht onverbruikt terug wordt afgevoerd : dit is een verliespost. Het verlies aan ongebruikte lucht hangt af van de bijmengingsgraad : hoe geringer deze is, des te kleiner het ventilatierendement. De luchtsamenstelling voor de dieren bij een gerichte luchtstroom is aanzienlijk beter, dan wanneer alleen een secundaire luchtverplaatsing in hun omgeving voorkomt.



Stalluchtbijmenging in een vlakke halfstraal
in functie van de afgelegde weg

figuur 17

Wanneer de hoofdluchtstroom buiten de oponthoudszone blijft, gebeurt de luchtverversing nabij de dieren slechts onrechtstreeks, dank zij de inductiewerking. Dit betekent dat de gebruikte stallucht door bijmenging in de hoofdluchtstroom wordt afgevoerd. Hoe belangrijker nochtans de inductie, des te beter, zelfs bij deze omstandigheden, de ventilatie zal geslaagd wezen.

Meestal is het rendement en de efficiëntie van dergelijke ventilatie echter gering. De afkoeling van het hok wordt aanzienlijk, indien men dan door sterkere ventilatie een hoge zuiverheidsgraad van de stallucht in de nabijheid van de dieren wil bereiken.

2. Een stroming van verse buitenlucht, die standvastig naar de verblijfszone gericht is, biedt waarborgen op gebied van luchtsamenstelling. Het gevaar voor een te lage temperatuur en te hoge luchtsnelheid in de nabijheid van de dieren is echter niet denkbeeldig. Daarom is een grondige menging van de binnenstromende lucht met de stallucht dan ook noodzakelijk.

Aangezien de deeltjes uit het omringende medium niet alleen een kleinere snelheid bezitten dan deze uit de luchtstroom, doch ook drager zijn van warmte, zal door de bijmenging gelijktijdig de luchtsnelheid afnemen en de temperatuur stijgen. Temperatuur en luchtsnelheid dienen in de kortst mogelijke afgelegde weg binnen toelaatbare grenzen te worden gebracht (fig. 17 b, zone vanaf inlaat tot A) door bijv. een inrichting aan de inlaat te voorzien, die de spreiding in de hand werkt.

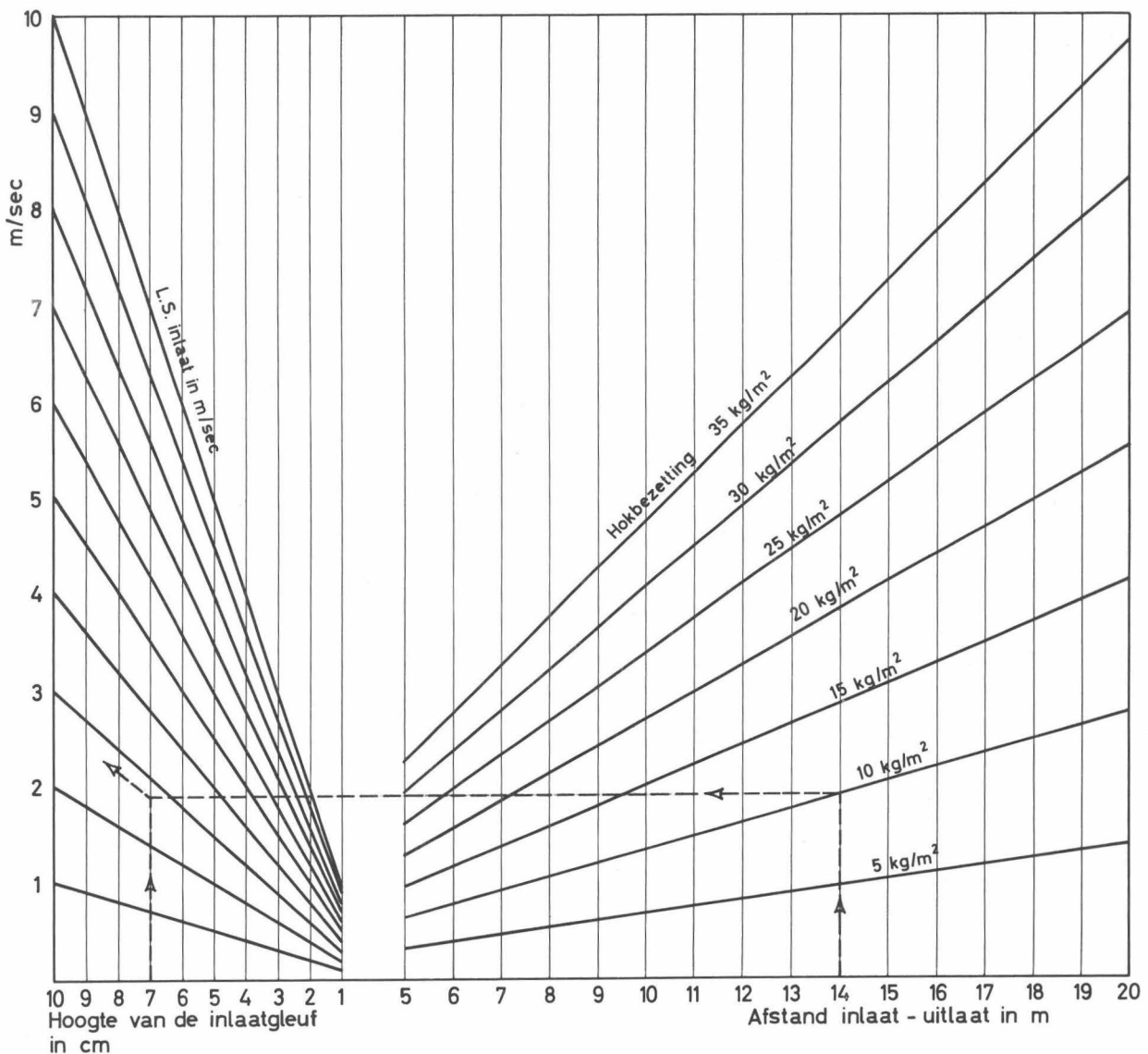
Voor het richten en spreiden van de luchtstraal, hebben wij gebruik gemaakt van een plaat met kleine ronde openingen (\emptyset 15 mm of 22 mm). Daardoor ontstaan meerdere kleine stralen, zodat de menging snel kan plaatsgrijpen langs de mantel van de verschillende straaltjes. Ons leek ook dat, als gevolg van de geringe dikte van de plaat (< 1 mm), de turbulentiegraad aanzienlijk was vermeerderd voor deze kleine stralen i.v.m. de globale straal, resulterend uit de inlaatopening zonder de verdeelplaat.

Uit de formules (3) en (4) volgt dat, zowel de verhoging van de turbulentiegraad, als ook de kleinere diameter van de luchtstralen, een snellere en grondigere menging tot gevolg hebben.

De snelheid in de inlaat zelf is in dat verband eveneens van groot belang voor de eigenschappen van de luchtstroming in het hok en moet volledig in handen kunnen worden gehouden.

De niet controleerbare windinvloed op de ventilatie moet dan ook zoveel mogelijk worden vermeden door een doelmatig windscherm buiten het stalgebouw.

De L.S. in de inlaat is verder ook afhankelijk van de afmetingen van de luchtinlaat en van de noodzakelijke ventilatiehoeveelheid per meter inlaat. Deze laatste hangt af van de stalbezetting en de afstand tussen in- en uitlaat (fig. 18).



Verband tussen de afstand inlaat tot uitlaat, de hokbezetting, de hoogte van de inlaatgleuf en de snelheid van de luchtintrede

figuur 18

Om de snelheid bij de dieren voldoende te kunnen begrenzen, mag de aanvangssnelheid niet te hoog liggen (maximaal 3 - 4 m/sec) wat meteen ook het verband tussen stalbreedte, -bezetting en afmetingen van de inlaatopeningen vastlegt.

3. Het localiseren van de luchtinlaatopeningen moet tenslotte zodanig zijn dat alle zones voldoende met verse lucht kunnen worden bevoorraad.

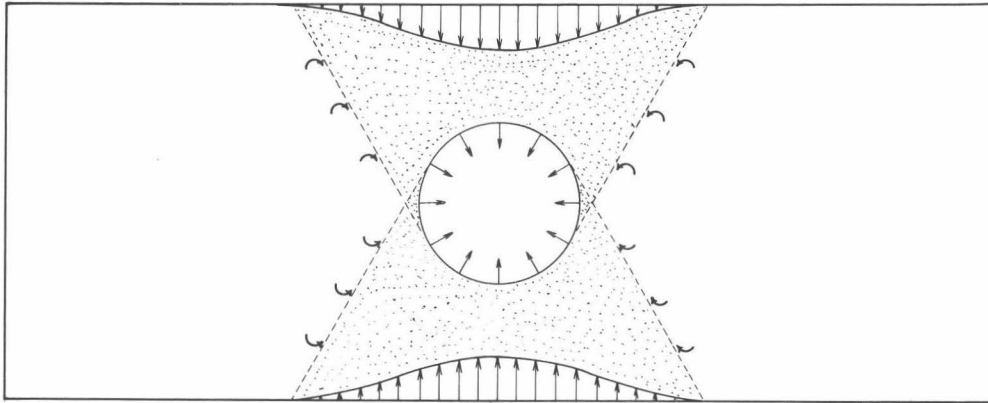
3.1.2. Luchtafvoeropeningen en ventilatoren

Alhoewel de inlaatopeningen het belangrijkste aandeel hebben in het al dan niet slagen van het ventilatieproces, dient ook aandacht besteed aan de gelijkmatigheid van de luchtafzuiging.

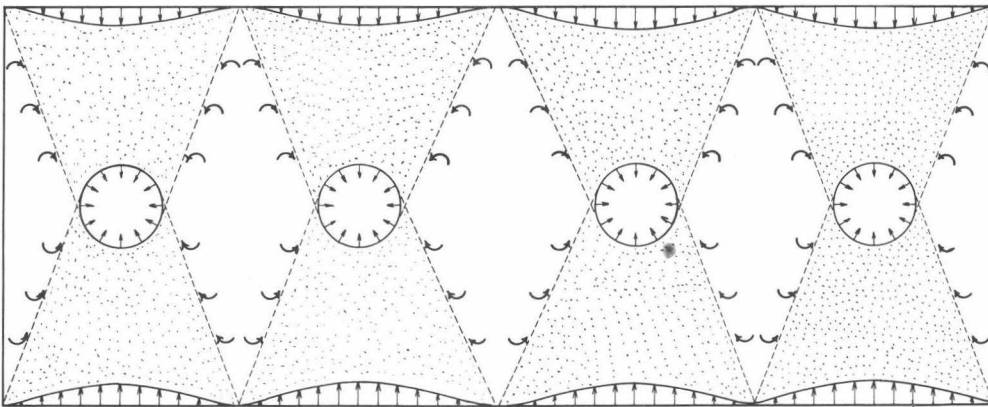
Wanneer de afzuiging geschiedt door middel van ventilatoren in de daknok zonder ventilatiekanaal, wordt dicht bij de ventilatoren een sterkere luchtstroom in de inlaat waargenomen dan tussen de ventilatoren in (fig. 19 a en b). Met het oog op de gelijkmatigheid van de ventilatie, is het derhalve noodzakelijk de afstand tussen de ventilatoren te beperken, of door een kanaal met aangepaste openingen een meer uniforme aan- en afvoer te verkrijgen (fig. 19 c).

De geometrische vorm van het aanzuigspectrum van de ventilatoren verklaart de ongelijkmatige luchtafvoer. In geval van horizontaal in het dak ingebouwde ventilatoren, vertoont het aanzuigspectrum een genoeg hemisferische vorm. Het aanzuigspectrum kan in een verticaal doorsneevlak, gaande door de aslijn van de ventilator of afzuigopening, worden geanalyseerd (fig. 20). De punten met gelijke luchtsnelheid liggen op de omtrek van een halve cirkel met het centrum van de afzuigopening als middenpunt. De verschillende isovellen verlopen concentrisch. Experimenteel kan dit worden bevestigd, niettegenstaande men in de praktijk altijd met vervormingen te maken heeft.

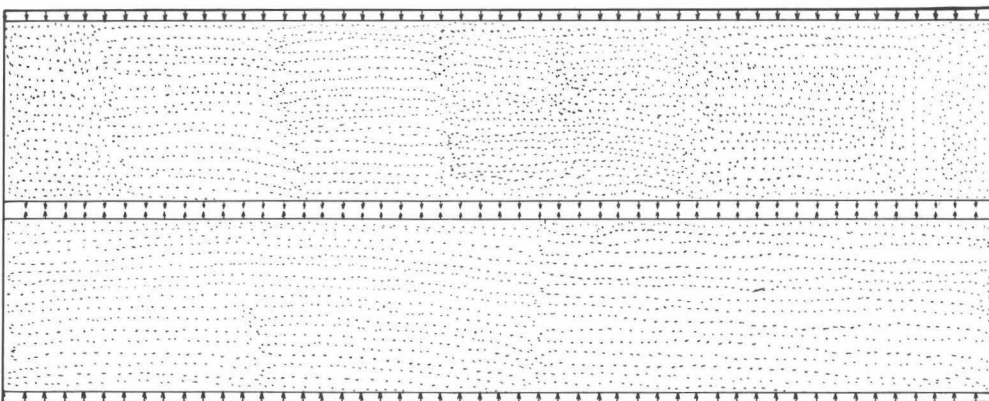
De luchtbeweging gebeurt volgens de straalrichting, dus loodrecht op de raaklijnen aan de isovellen. Herinneren wij hier dat bij de luchtinlaatopeningen de luchtstroom evenwijdig verliep met de isovellen (3.1.1.).



a. doorlopende inlaatgleuf; één afzuigventilator

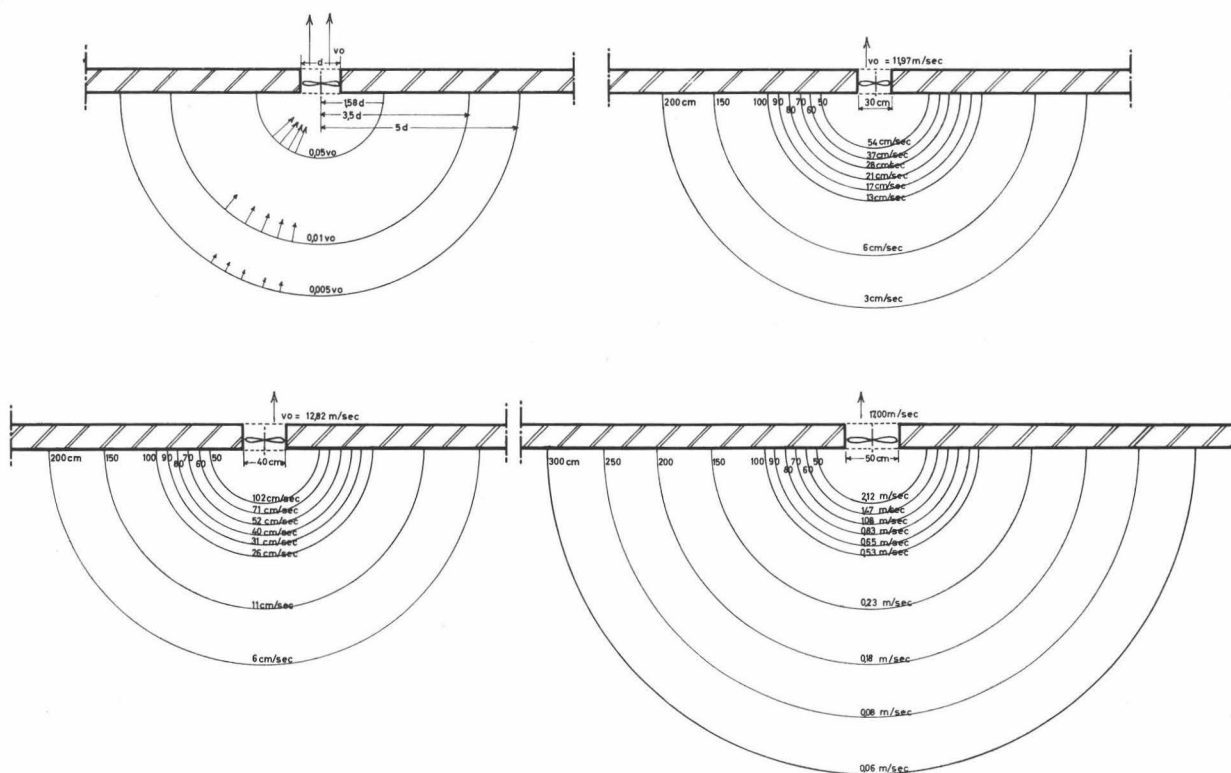


b. doorlopende inlaatgleuf; meerdere afzuigventilatoren



c. doorlopende inlaatgleuf; ventilatoren en ventilatiekanaal

De invloed van de spreiding van de lucht-
afvoeropeningen op de luchtverversing in een hok
figuur 19



Doorsnede van het aanzuigspectrum
voor enkele ventilatoren

figuur 20

De luchthoeveelheid door de ventilator afgevoerd, is gelijk aan de hoeveelheid die door de oppervlakte van de hemisfeer wordt aanzogen.

Zij d_o = diameter van de ventilator in m

v_o = luchtsnelheid in de afzuigopening (ventilator) in m/sec

r_x = straal van een isovellisch bolvormig vlak gekenmerkt door een luchtsnelheid x in m/sec.

$$\text{dan is : } \frac{v_o d_o^2 \pi}{4} = 2 \pi r_x^2 x \quad (11)$$

Berekenen wij nu de waarde van r_x voor $x = 5\%$ van v_0 , dan volgt uit de vergelijking dat $r_x = 1,58 d_0$. Dit betekent dat het isovellisch vlak, waar een L.S. optreedt $= 5\%$ van de luchtsnelheid in de afzuigopening, een straal heeft gelijk aan 1,58 maal de diameter van de ventilator. Op analoge wijze kan worden berekend dat het vlak met L.S. $= 0,5\%$ van de snelheid in de afzuigopening, op een afstand ligt, gelijk aan 5 maal de diameter van de ventilator (fig. 20).

De figuur 20 geeft verder de karakteristieken van de directe invloedzone weer voor een aantal ventilatoren met verschillende diameter en debiet.

Wanneer wordt aangenomen dat de aanzuigspectra van de ventilatoren in een hok elkaar dienen te raken met de vlakken gekenmerkt door een L.S. van minstens $0,01 \text{ m/sec}$, dan kan de maximale afstand A tussen de ventilatoren als volgt worden berekend :

$$\text{Zij } S = \text{oppervlakte van een halve bol (met diameter } d) = \frac{\pi d^2}{2}$$

A = afstand tussen de ventilatoren in m

D = debiet van de ventilatoren in m^3/h

$d_{0,01}$ = diameter van het spectrumvlak waar de aanzuigsnelheid gedaald is tot $0,01 \text{ m/sec}$.

$$\text{dan is } \frac{\pi d_{0,01}^2}{2} \times 0,01 = \frac{D}{3600} \quad (12)$$

$$\text{Bij onderling gelijke ventilatoren moet } A \leq \sqrt{\frac{D}{56,5}} \text{ in m} \quad (13)$$

De maximale afstand A heeft een invloed op de gelijkmatigheid in luchtafvoer. Ook de verdeling van de aangevoerde ventilatielucht in het hok hangt af van de afstand tussen de ventilatoren. Hieruit volgt dat ongetwijfeld betere resultaten te verwachten zijn door het gebruik van verschillende kleinere dan van één grote ventilator.

Men dient ten andere ook te vermijden dat de ventilator op rechtstreekse wijze de inlaatopeningen en de eruit resulterende baan van de luchtstraal beïnvloedt. De afstand inlaat-uitlaat moet dus steeds groter zijn dan $A/2$. Hoe groter de ventilatoren, des te moeilijker aan deze voorwaarde kan worden voldaan.

De verdeling van het totaal debiet over kleinere ventilatoren komt tenslotte ook ten goede aan de regelingsmogelijkheid van de ventilatie.

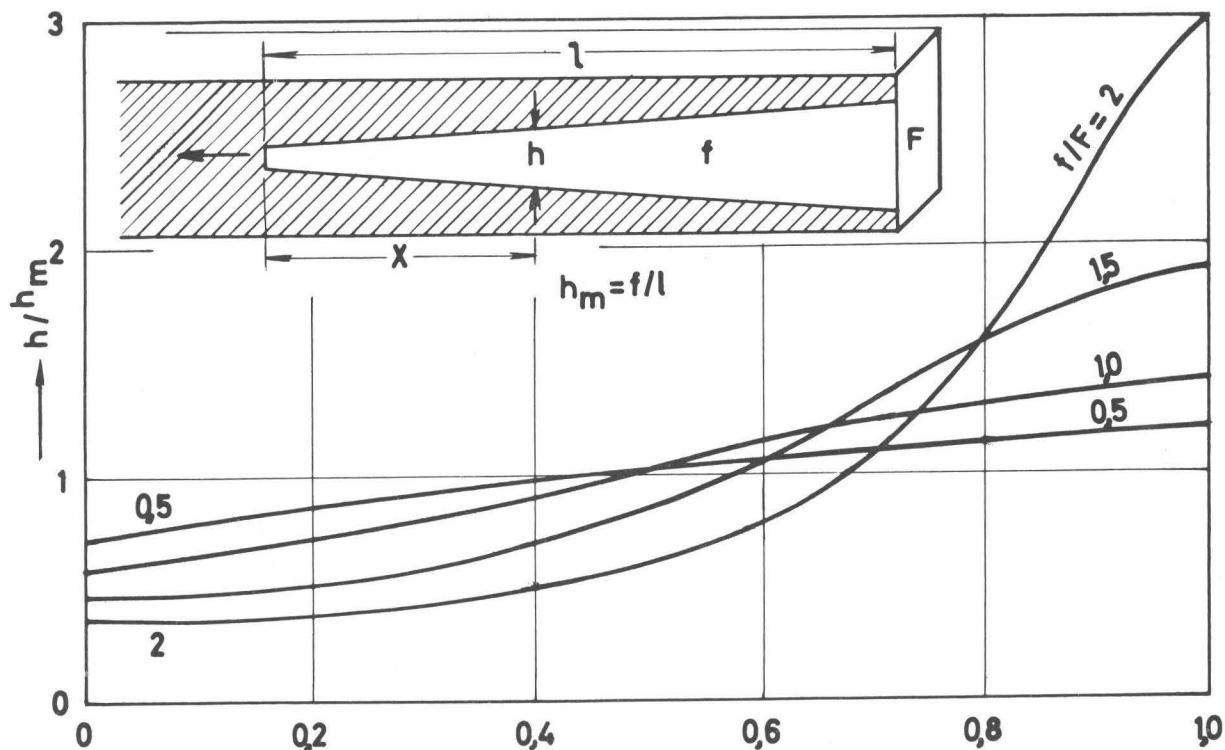
Aan de toestand geschapen door ongelijkmatige afzuiging in de ruimte, die steeds het gevaar voor dode zones insluit, kan worden verholpen door gebruik te maken van een ventilatiekanaal. In dit kanaal kan dan een gleufvormige opening worden voorzien.

Is de aanzuighoeveelheid door de gleuf in het kanaal normaal het grootst nabij de ventilator, dan zijn de optredende verschillen gering, wanneer de verhouding $f/F \leq 0,5$ (LAAKSO, 1959).

Daarin is f = oppervlakte van de aanzuigopening in het kanaal
 F = sectie van het kanaal.

De volledige gelijkmatigheid in aanzuiging kan worden bereikt door een aanpassing van de gleufbreedte (h) aan de afstand tot de ventilator.

Figuur 21 geeft de gleufbreedte h noodzakelijk voor uniforme afzuiging in functie van f/F en x/l . De gebruikte symbolen zijn in de figuur verklaard (LAAKSO, 1959).



De uitbouw van het ventilatiekanaal voor het bereiken van een gelijkmatige afzuiging (LAAKSO, 1959)

figuur 21

3.1.3. Ventilatieregelapparatuur

De ventilatieregelapparatuur oefent in bepaalde gevallen onrechtstreeks een invloed uit op de baan van de luchtstroom.

De klassieke thermostatische regeltechniek heeft geen eigenlijke uitwerking op het ventilatiepatroon.

Elk stuurmechanisme daarentegen dat toelaat de ventilatiehoeveelheid traploos of trapvormig (*) te wijzigen in functie van de noodwendigheid, kan het ventilatiepatroon wel doen veranderen :

- door het voortdurend wijzigen van de intredesnelheid bij de inlaat (3.1.1. fig. 16)
- door de verandering in grootte van het aanzuigspectrum van de ventilator (3.1.2.)

In feite komt de eventuele rol van de regelapparatuur op het ventilatiepatroon dus overeen met een verandering van de karakteristieken van in- en uitlaatopeningen. Een afzonderlijke bespreking is hier dus overbodig.

3.2. EXPERIMENTEEL ONDERZOEK

Het aantal reeds bestaande varianten van ventilatiesystemen is zeer groot. Wij hebben ons dan ook hoofdzakelijk dienen te beperken tot deze toegepast in de vroeger beschreven O- en N- hokken. Onze methodiek en besluiten reiken nochtans heel wat verder, en hebben een meer algemene betekenis.

In deze paragraaf willen wij het onderzoek bespreken, dat ons toegelaten heeft een juistere kennis te verkrijgen van de luchtstromingen die zich in werkelijkheid voordoen. Vervolgens zullen wij er

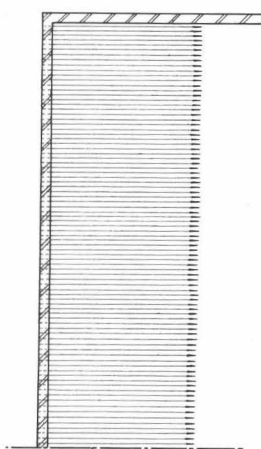
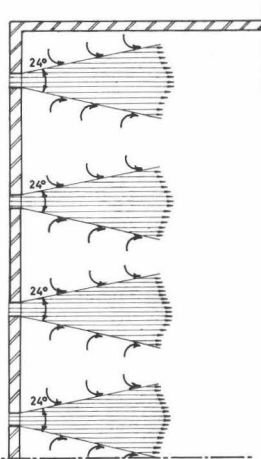
(*) Traploos geregelde ventilatie : luchtverversing die toelaat, door regeling van het toerental van de ventilatoren, elk mogelijk debiet te verwezenlijken tussen een minimum (noodzakelijk voor een bedrijfszekere werking van de motor) en het nominale debiet van de ventilatoren. De bijregeling geschiedt hier meestal automatisch.

Trapvormig geregelde ventilatie : ventilatie waarbij enkele tussenstanden mogelijk zijn (bijv. 30 % en 60 % van de maximale luchtverversing).

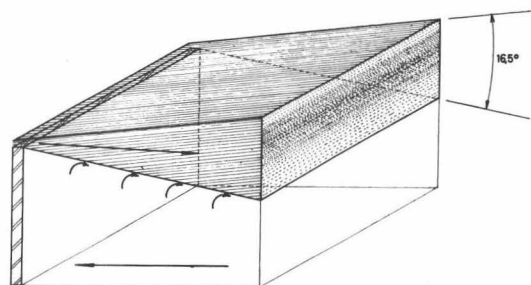
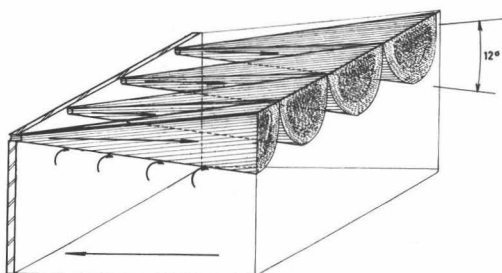
een meer efficiënt verloop voor plannen, samen met de nodige wijzigingen aan het ventilatiesysteem om dit te bereiken. Dit zal trouwens ons bijzonderste en uiteindelijke doelwit zijn.

Het bepalen van het ventilatiepatroon is steeds omslachtig en wanneer het in hokken onder bedrijfsomstandigheden dient te geschieden, nemen de moeilijkheden nog aanzienlijk toe. Om ondermeer sneller het resultaat van de wijzigingen aan inlaatopeningen te kunnen vaststellen, hebben wij voor de oriënterende voorstudie beroep gedaan op kleinmodeltechniek (schaal 1/10).

Naast dit onderzoek op kleinmodel, werden talrijke waarnemingen verricht in praktijkhokken (isovellen, isothermen, rooktesten).



Langse doorsneden



Dwarse doorsneden

a. onderdrukventilatie
ronde inlaatopeningen:
halfstralen

b. onderdrukventilatie
gleufvormige inlaatopening:
vlakke halfstraal

Voorbeelden van ventilatielucht-
stralen bij onderdrukventilatie

figuur 22

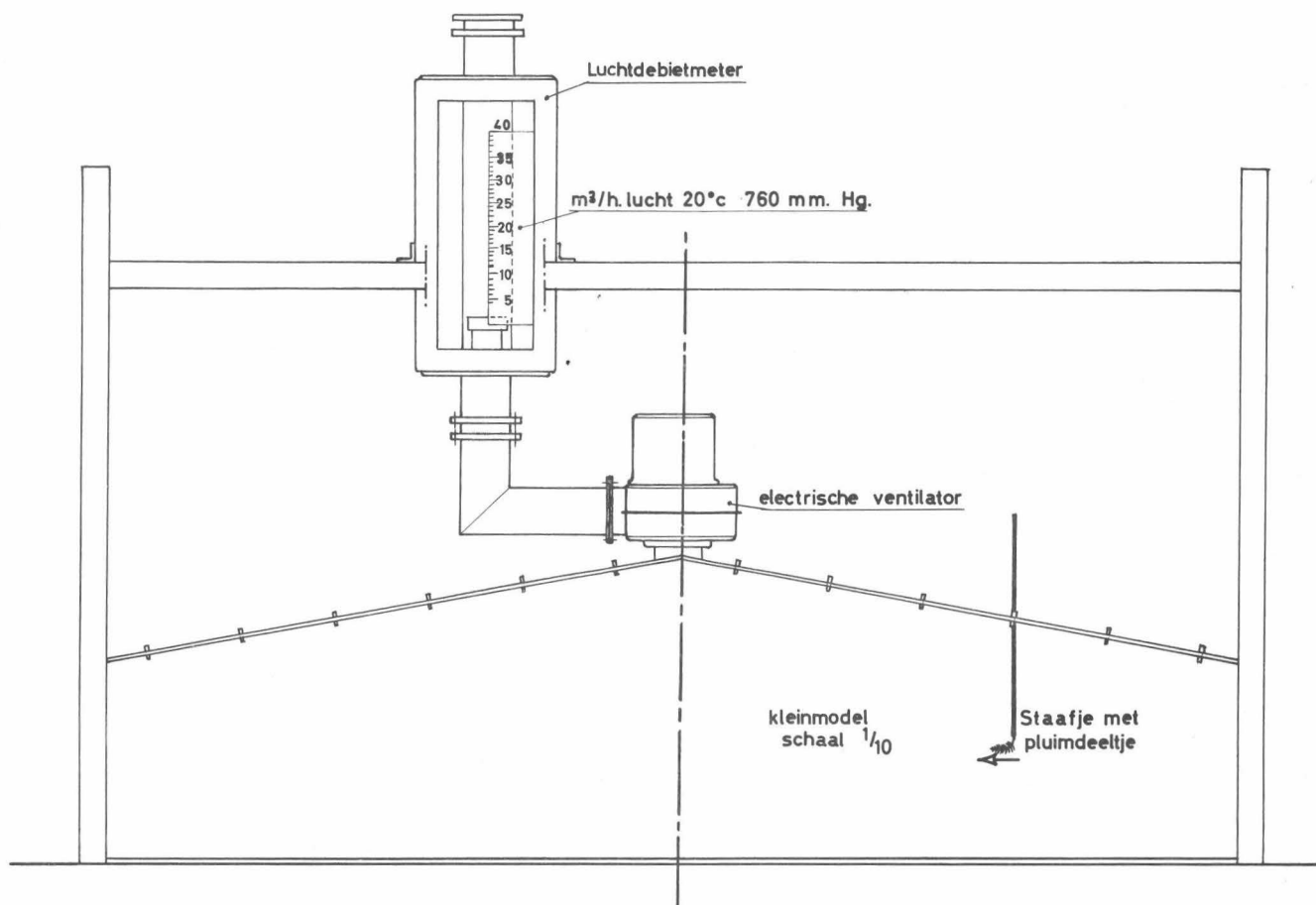
Schematisch worden een tweetal onderdrukventilatiesystemen voorgesteld in figuur 22. De gleufvormige inlaat (fig. 22 b) stemt overeen met de toestand zoals wij die aangetroffen hebben in de praktijk bij de aanvang van ons onderzoek. Zowel de inlaat als de uitlaat waren boven in het hok gesitueerd.

Gezien de gleufvormige inlaat, en de afzuiging van stallucht door meerdere ventilatoren op korte afstand of door ventilatoren met ventilatiekanaal, kan het ventilatieprobleem in één dwarsdoorsnede van de stal worden bestudeerd. Wanneer de luchtafvoer en (of) -aanvoer sterk ongelijkmatig zouden zijn voor verschillende doorsneden, zou het gevonden patroon enigszins verschillen, naargelang de gekozen doorsnede. Om deze eventuele afwijkingen van de normale toestand te voorkomen, werden de waarnemingen dan ook systematisch verricht in een dwarsdoorsnede van de hokken waarin een werkende ventilator aanwezig was.

3.2.1. Grondregels en methodiek voor de studie van het ventilatiepatroon

Kleinmodel (fig. 23)

Zowel het vervaardigen als het gebruik van een model voor experimentele doeleinden, vereisen bijzondere voorzorgen, omdat een gelijkvormigheid moet worden bereikt met het prototype, wil men de gevonden resultaten op werkelijke grootte kunnen toepassen. Voor de studie van de ventilatie in de dierlijke huisvesting, is een volledige gelijkvormigheid trouwens niet te bereiken. Het is inderdaad onmogelijk de warmte- en vochtafgifte, samen met de beweging van de dieren, alsmede de gas- en stofontwikkeling, zelfs ook maar bij benadering na te bootsen. Al deze factoren spelen nochtans een rol bij het verloop van de luchtstromingen. Wij wensen echter op het model het algemeen luchtstromingsbeeld vast te leggen, als gevolg van het ventilatiesysteem (meer bepaald van de inrichting van de inlaatopeningen) en niet het temperatuurbeeld of de L.S.-toestand zelf. Aldus dient in de eerste plaats een geometrische gelijkvormigheid te worden verwezenlijkt wat nog vrij eenvoudig is.



Kleinmodel (schaal 1/10) gebruikt voor oriënterende
voorstudie van het ventilatiepatroon

figuur 23

Volgens PATTIE et al (1962), moet de snelheid van de luchtverplaatsing 10 maal groter zijn in het model dan op werkelijke schaal, wil men de dynamische gelijkvormigheid bekomen (voor een model op schaal 1/10). Nochtans stelden deze onderzoekers vast dat geen significante verandering van het ventilatiepatroon waar te nemen was bij reynoldsgetallen van 0,20, 0,65 en 0,91 maal het Re-getal in het beschouwde prototype.

Zij zien dan ook een voordeel in het gebruik van een model: "... as the airflow is governed by viscous effects, the air velocities in the model can be increased as the scale is reduced, this simplifying airflow velocity and direction measurements".

Ook KATZ (1965) schrijft: " Es hat sich gezeigt, dass für das Strömungsbild im Raum die Reynolds-Zahl der eintretenden Luft nur von sehr geringen Bedeutung ist. Wenn im Stall einmal ein stabiles Strömungsbild entstanden ist, verändert sich dieses auch bei noch so grosser Steigerung der Eintrittsgeschwindigkeit nicht mehr".

Het Re-getal geeft echter de betrekking tussen traagheids- en wrijvingskrachten. Bij niet-isotherme luchtstroming, kan de baan van de luchtstraal nog beïnvloed worden door de dichtheidsverschillen, die het gevolg zijn van de optredende temperatuurverschillen.

Van de verhouding van de traagheidskrachten ten overstaan van de zwaartekrachten zal dan de resulterende baan afhangen.

Voor een gelijkvormigheid bij niet isotherme luchtstroming zou de luchtsnelheid en temperatuur voor de studie in het model zo gekozen dienen te worden dat het kengetal van Archimedes (Ar) voor het model, gelijk is aan het Ar -getal voor het beschouwde prototype (BATTURIN, 1959; KATZ, 1965) : $Ar_P = Ar_M$. De index P verwijst naar het prototype, M naar het model.

$$\text{Uit (8) volgt : } Ar_P = \frac{gl_P \Delta t_P}{v_P^2 T_P} \text{ en } Ar_M = \frac{gl_M \Delta t_M}{v_M^2 T_M} \quad (14)$$

zodat de voorwaarde voor dynamische gelijkvormigheid dan wordt :

$$\frac{gl_P \Delta t_P}{v_P^2 T_P} = \frac{gl_M \Delta t_M}{v_M^2 T_M} \quad (15)$$

$$\text{of ook : } v_M = \left(\frac{l_M}{l_P} \right)^{1/2} \left(\frac{T_P}{T_M} \right)^{1/2} \left(\frac{\Delta t_M}{\Delta t_P} \right)^{1/2} v_P \quad (16)$$

$$\text{mag men aannemen dat : } \frac{T_P}{T_M} = 1 \quad (17)$$

indien verder $\Delta t_M = \Delta t_P$, dan wordt de voorwaarde (16) :

$$v_M = \left(\frac{l_M}{l_P} \right)^{1/2} v_P \quad (18)$$

$$\text{bij } \frac{l_M}{l_P} = \frac{1}{10} \quad (19)$$

$$\text{dient } v_M = \frac{v_P}{3,16} \quad (20)$$

Gezien echter deze studie op kleinmodel in het bijzonder tot doel had de invloed van de inrichting van de inlaatopeningen op het ventilatiepatroon aan te tonen, werd alleen met isotherme luchtstromingen gewerkt. De hier bereikte resultaten zijn dan ook slechts vergelijkbaar met de toestand in het prototype bij eveneens isotherme voorwaarden.

Daar ons onderzoek betrekking heeft op halfstralen, waarop de zwaartekracht in mindere mate een uitwerking heeft als op vrije stralen, mag worden verwacht dat het gevonden ventilatiepatroon in het model aan de werkelijke toestand zal beantwoorden, zolang het temperatuurverschil niet te belangrijk wordt.

Ook wegens de hoge intredesnelheid, die normaal in het prototype zal optreden, is de invloed van de zwaartekracht eerder gering. Figuur 16 wijst de invloed van de zwaartekracht op een vrije vlakke straal voor $\Delta t_P = 23^\circ\text{C}$ (extreem geval voor onze klimaatsomstandigheden).

De resulterende baan van een halfstraal hangt uiteindelijk af van een complex van factoren: zwaartekracht, traagheids-, wrijvingskrachten, e.a., dat moeilijk in een algemene wet kan worden uitgedrukt.

PATTIE et al (1962) verdedigen volgende zienswijze: "it was further reasoned that in this type of ventilation problem, where the preference

is to employ small slot or jet type inlets, the effects of gravitational drop would have little effect on the airflow pattern, and therefore, results obtained from the model for "isothermal" conditions, would not be misleading if applied to full scale practice where a large temperature difference might be expected".

Als besluit kan worden gezegd, dat de waarnemingen in het model ongetwijfeld de invloed van de inrichting van de inlaatopeningen zullen weergeven. De kennis hiervan is zeer belangrijk, omdat deze openingen een overwegende rol spelen op het bereikte ventilatiepatroon.

Bij isotherme luchtstroming in het prototype, zullen de waarnemingen in het model een getrouwe weergave zijn van de werkelijke toestand. Bij een horizontaal intredende luchtstraal betekent dit meteen de meest nadelige omstandigheid, waarmede rekening dient gehouden (kortsluiting langs dakbeschoot, aangezien de luchtstraal door de zwaartekracht niet wordt afgebogen naar de verblijfszone).

Bij niet-isotherme luchtstroming zal het o.m. afhangen van de grootte van Δt in het prototype, welke de afwijking zal zijn van het ventilatiepatroon opgenomen in het model bij isotherme voorwaarden. Over dit probleem hebben wij geen onderzoek verricht.

Om het luchtstromingsbeeld in het kleinmodel te kunnen waarnemen, waren in het dak openingen voorzien, langs dewelke een dun staafje kon worden ingebracht, waaraan een uiterst licht pluimdeeltje werd bevestigd. De richting, door dit laatste in de luchtstroom aangenomen, werd bij middel van pijltjes op een schets aangetekend. Uit het geheel van deze aantekeningen, kon dan met voldoende nauwkeurigheid een globaal beeld worden bekomen van de optredende luchtstromingen.

De afzuiging werd verwezenlijkt door middel van een centrifugaal-ventilator, waarvan het toerental en dus ook het debiet kon geregeld worden.

L.S.-metingen

Het onderzoek van het ventilatiepatroon in praktijkhokken met behulp van L.S.-metingen is niet eenvoudig. Vooreerst is een nauwkeurige bepaling van de L.S. in verschillende punten van een staldoorsnede

vrij ingewikkeld en omslachtig. Zo is de L.S. in een punt voortdurend aan schommelingen onderworpen, zodat een gemiddelde waarde dient te worden berekend uit meerdere waarnemingen. Wanneer de L.S. in een bepaalde zone klein is, wordt het nog moeilijker om nauwkeurig deze kleine waarden te meten, en het uittekenen van isovellen (lijnen van gelijke L.S.) wordt quasi onmogelijk.

Als meettoestel werd gebruik gemaakt van een registrerende hitte-draadanemometer met 10 elementen.

De methodiek die werd toegepast om uit de L.S.-metingen het ventilatiepatroon af te leiden is de volgende : in een aantal punten van één staldoorsnede wordt de L.S. bepaald, de punten met zelfde snelheid worden daarna tot isovellen verbonden.

De grondregels waarop wij dan het vaststellen van het ventilatiepatroon gebaseerd hebben, zijn als volgt te formuleren :

hoofdluchtstroom :

- 1) de hoofdluchtstroom verloopt evenwijdig met de isovellen (met isovellen worden hier bedoeld, de lange ongeveer rechtlijnige stukken van de isovellenfiguur : 3.1.1.)
- 2) de L.S. daalt in de hoofdluchtstroom geleidelijk vanaf de inlaat; in een richting loodrecht op de baan van de luchtstraal neemt de L.S. zeer snel af. Dit laat tevens toe de zin van de beweging te bepalen. Indien dit niet het geval is, dient de zin van de stroming door rooktesten te worden vastgesteld.

nevenluchtstroom :

- 1) de nevenluchtstroom is in zin tegengesteld aan deze van de hoofdluchtstroom.
- 2) in de nevenluchtstroom is de L.S. meestal laag. Op zichzelf geeft dit een te vage aanduiding, in het bijzonder daar ook in de hoofdluchtstroom lage snelheden kunnen voorkomen en vice versa.

Zoals hieruit blijkt, is het niet alleen moeilijk L.S.-metingen door te voeren, doch ook de interpretatie ervan is niet steeds eenvoudig. Meestal zelfs is, met behulp van deze methode, alleen de aanvang van de hoofdluchtstroom duidelijk te herkennen. Dit kan evenwel in vele gevallen reeds leiden tot de identificatie van het globale ventilatiepatroon.

Temperatuurwaarnemingen

Ons lijkt de opname van temperaturen in de staldoorsnede de meest objectieve en doeltreffende methode voor de studie van het ventilatiepatroon.

Het temperatuurbeeld van een hok heeft ongetwijfeld een fundamenteel verband met het ventilatiepatroon (3.1.1.), zodat dit laatste aan de hand van temperatuurmetingen kan worden bepaald.

Voor de metingen van de luchttemperaturen in de staldoorsneden werden koper-constantaan-thermokoppels aangewend, aangesloten op een registrerende potentiometer; de nauwkeurigheid van de metingen bedraagt $0,1^{\circ}\text{C}$. Er werd systematisch gemeten tijdens ventilatieperiodes.

De metingen in de staldoorsneden werden bij verschillende grootorde van buitentemperatuur verricht. Bij lage buitentemperatuur en bij afwezigheid van bijverwarming, kon de ventilatie slechts gedurende een korte tijdspanne in werking worden gehouden.

Daarom werden dan slechts de temperaturen nabij de inlaat waargenomen; hier geschiedt de belangrijkste bijmenging en dus ook het opwarmen van de binnenkomende lucht.

Langs een verticale lijn in het hok, worden op regelmatige afstand de temperatuurmetingen verricht; dit geeft als resultaat een z.g. temperatuurprofiel. De temperatuurprofielbepalingen worden doorgevoerd op meerdere plaatsen in één staldoorsnede. Het geheel van de waarnemingen verschaft dan een globaal temperatuurbeeld van het hok, waaruit het ventilatiepatroon kan worden afgeleid. Door in de gekozen doorsnede de punten met dezelfde temperatuur te verbinden, bekomt men isothermen.

De grondregels waarop wij de identificatie van het ventilatiepatroon zullen baseren zijn de volgende :

hoofdluchtstroom :

- 1) de luchtstralen in het hok komend uit de inlaatopeningen, verlopen nagenoeg evenwijdig met de isothermen (3.1.1.).
- 2) in één temperatuurprofiel behoren de punten, gekenmerkt door de laagste temperatuur, tot de primaire ventilatieluchtstraal.
- 3) de temperatuur van de hoofdluchtstroom neemt door de inductie langzamerhand toe.

nevenluchtstroom :

- 1) uiteraard is deze luchtstroom gekenmerkt door hogere temperaturen. De punten met hoogste temperatuur in een profiel behoren dus normaal tot de secundaire luchtbeweging.
- 2) in een gesloten ruimte treedt steeds, als gevolg van de hoofdluchtstroom, een secundaire luchtbeweging op in een zin tegengesteld aan deze van de hoofdluchtstroom (3.1.1.).

Rooktesten

Door rookontwikkeling voor de inlaatopening wordt de hoofdluchtstroom zichtbaar gemaakt. Daartoe worden rookstenen aangewend met volgende samenstelling : hars, kaliumchloraat, talk en ammoniumchloride.

Wanneer in het hok zelf een kleine hoeveelheid rook wordt ontwikkeld in de luchtstroom, kan de baan ervan over een korte afstand zeer nauwkeurig worden gevolgd. Dit geldt zowel voor de primaire als voor de secundaire luchtbeweging.

Uit het geheel dezer waarnemingen kan het ventilatiepatroon duidelijk worden afgeleid.

Verontreinigingsgraad van de stallucht

Gezien de verontreinigingsgraad van de ventilatielucht toeneemt, naarmate de afgelegde weg in de stal groter wordt, zouden hierdoor ook gegevens aangaande het ventilatiepatroon kunnen worden bekomen. De plaatsen met hoogste verontreinigingsgraad zouden derhalve wijzen op stilstaande lucht of secundaire luchtbeweging. Daartoe moet de stallucht echter in verschillende punten van een staldoorsnede worden

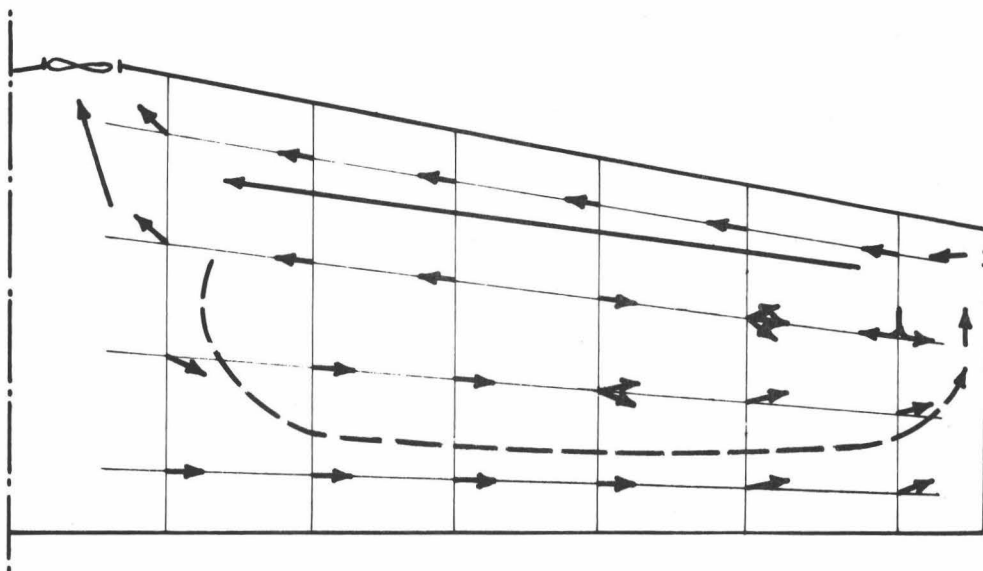
geanalyseerd (absolute vochtigheid, CO_2 , NH_3 , enz.). Het is nochtans moeilijk deze metingen op grote schaal door te voeren. Zo kon deze methode hier niet toegepast worden. Nochtans wordt het probleem van de stalgassenconcentratie in de hokken bestudeerd (hfst. IV) en dient beroep gedaan op dit feit (verontreiniging toenemend met de afgelegde weg) als verklaring voor bepaalde vaststellingen.

3.2.2. Het ventilatiepatroon in de hokken met gleufvormige inlaat- openingen (initiale toestand)

3.2.2.1. Oriënterende voorstudie van het ventilatiepatroon op kleinmodel (fig. 24)

De studie op maquette bij isotherme voorwaarden, laat duidelijk de toestand veronderstellen die onder praktijkvoorwaarden kan worden verwacht, dit zowel voor wat de primaire als voor wat de secundaire luchtbeweging betreft.

De hoofdluchtstroom beweegt zich van de inlaat rechtlijnig langs de dakconstructie naar de afzuigventilator. Hierdoor ontstaat op de hoogte van de vloer een secundaire stroming in tegengestelde zin, om de in de hoofdluchtstroming geïnduceerde lucht aan te vullen (fig. 24). Deze waarnemingen bevestigen derhalve de theoretische beschouwingen onder 3.1.1.



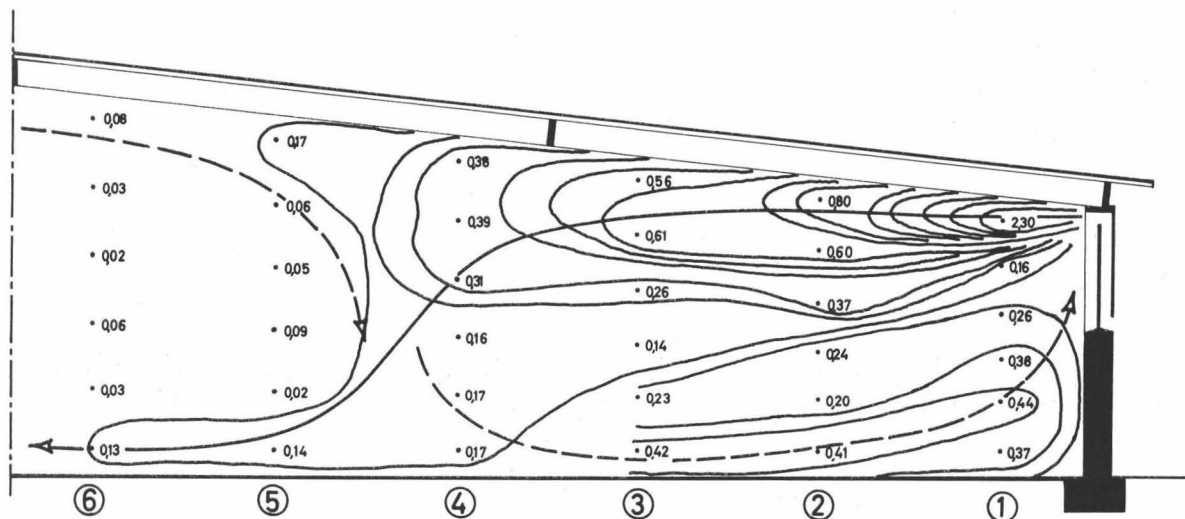
Ventilatiepatroon in kleinmodel (cfr. hok 0/3)

De uitslagen van dit laboratoriumonderzoek werden aangevuld door en vergeleken met waarnemingen in de hokken van het O-type zonder luchtstroomrichters. Daartoe werden zowel de methode der isothermen als deze der isovellen toegepast.

3.2.2.2. Studie van het ventilatiepatroon door opname van L.S.
(isovellenmethode)

Hok 0/2 (fig. 25)

De gleufvormige inlaat bevond zich in de rechterzijwand van dit hok, terwijl de afzuigventilatoren in de linkerzijwand aangebracht werden.



Isovellen en ventilatiepatroon in hok 0/2
figuur 25

De toepassing van de onder 3.2.1 geformuleerde grondregels laat toe het ventilatiepatroon in de beschouwde stalhelft als volgt te determineren :

hoofdluchtstroom :

- vanaf de inlaat tot het profiel 4, verloopt de hoofdluchtstroom langs het dakbeschot (evenwijdig met de isovellen : zone 1 tot 4).
- vanaf profiel 4 tot 6 zakt de hoofdluchtstroom naar de verblijfszone van de dieren (evenwijdig met de isovellen : zone 4 tot 6) waarschijnlijk onder invloed van de zwaartekracht.
- het verdere verloop van de hoofdluchtstroom, in de linkerhelft van het hok, kon niet worden bestudeerd aan de hand van de L.S.-metingen, daar de luchtsnelheid in dit gebied gedaald was tot minder dan 10 cm/sec.

nevenluchtstroom :

- onvermijdelijk zal vanaf profiel 4 naar 1 toe een nevenluchtstroom ontstaan, om de inductie in de hoofdluchtstroom aan te vullen. De L.S. in deze secundaire luchtstroming is vrij hoog, dit als gevolg van de hoge snelheid in de hoofdluchtstroming, doch nog steeds lager dan de L.S. van de primaire ventilatiestraal.
- nabij het dakbeschot, in het linkerdeel van het hok, zal normaal een secundaire luchtstroming optreden die eindigt nabij het profiel 4 (lagere L.S.).

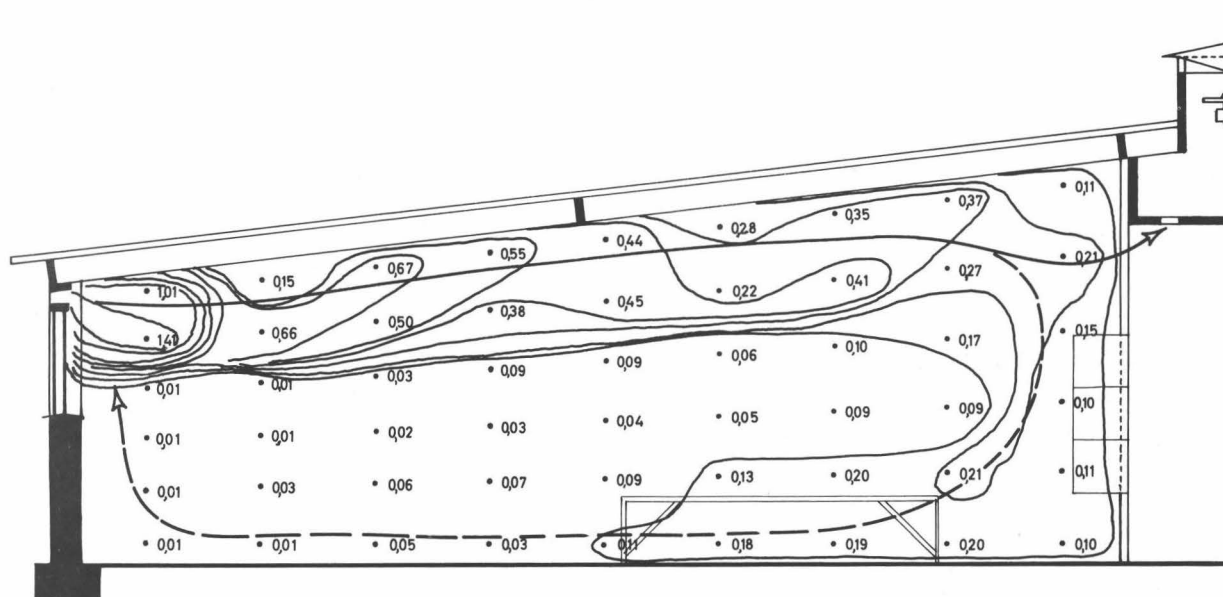
Het globale ventilatiepatroon wordt in figuur 25 weergegeven : de hoofdluchtstroom in volle lijn, de nevenluchtstromingen in stippellijn.

Dit ventilatiepatroon is ongetwijfeld niet ideaal (3.1.1.) en daarenboven komen gevaarlijk hoge luchtsnelheden voor in de verblijfszone vanaf profiel 1 tot 4.

Het uittekenen van het ventilatiepatroon, zoals het in deze en volgende figuren schematisch gebeurt, beoogt vanzelfsprekend slechts de weergave van richting en zin van de voornaamste optredende stromingen. Kleine locale wervelstromingen worden niet getekend, enerzijds omdat zij van ogenblik tot ogenblik kunnen veranderen, en anderzijds omdat zij geringe invloed hebben op het comfort van de dieren en op de luchtverversing. Ook de locale wervelstromingen, buiten de verblijfszone van de dieren, zijn voor het welslagen van de ventilatie onbelangrijk, en worden derhalve niet op de figuren weergegeven.

Hokken 0/3, 0/8 en 0/6 (fig. 26, 27 en 28)

Een gleufvormige inlaat bevindt zich in beide zijwanden, het afzuigen geschiedt langs de daknok.



Isovellen en ventilatiepatroon in hok 0/6
figuur 28

Het is duidelijk dat hier een volledige kortsluitluchtstroming optreedt, wellicht omdat de invloed van de zwaartekracht te gering is om de luchtstroom van het dakbeshot los te maken en naar de verblijfszone te brengen. Dergelijke toestand, te vergelijken met de waarnemingen onder 3.2.2.1., is de meest nadelige toestand die zich kan voordoen gedurende de winter (fig. 17).

Uit elk van deze 3 figuren blijkt dat de hoofdluchtstroom nabij de inlaat licht naar omlaag gebogen wordt; onmiddellijk nadien wordt deze hoofdstroom, als gevolg van de inductie langs het ondervlak van de straal, tegen het dakbeschot gedrukt en beweegt zo verder naar de uitlaat toe. Op figuur 28 kan deze hoofdluchtstroom duidelijk gevolgd worden van bij de inlaat tot nabij het ventilatiekanaal, waar een gedeelte wordt afgevoerd door de ventilator en de rest naar de verblijfszone stroomt.

Op figuur 26 en 27 is een duidelijk beeld langs het dakbeschot slechts waarneembaar tot voorbij de halve afstand inlaat-uitlaat.

Nadien is de stroming wellicht grotendeels losgekomen van het dakbeschot, doch door de temperatuurstijging in de straal, is de invloed van de zwaartekracht aanzienlijk verminderd, en vanaf deze zone begint zich ook reeds de invloed van de ventilatorzuigkracht te doen gelden.

*

*

*

Onmiddellijk blijkt dat bij deze gleufvormige inlaat, de hoofdluchtstroom zich minstens over een zekere afstand langs het dakbeschot voortbeweegt. Wanneer deze luchtstroom zich vanaf de inlaat tot bij de uitlaat langs het dakbeschot beweegt, spreken wij van een volledige kortsluitluchtstroming. Zelfs wanneer de hoofdluchtstroom na een korte afgelegde weg toch naar de verblijfszone gericht wordt (fig. 25), zullen wij nog spreken van een gedeeltelijke kortsluitluchtstroming, omdat minstens dit gedeelte van het hok slechts onrechtstreeks wordt geventileerd.

In de praktijk zal het o.m. afhangen van L.S. en temperatuur van de hoofdluchtstraal of er al dan niet een volledige kortsluitluchtstroming voorkomt. In enkele gevallen ook, wordt de richtingsverandering van de luchtstroom veroorzaakt door onder het dakbeschot uitstekende balken (3.2.2.4.).

Deze waarnemingen verschaffen ook inlichtingen over tochtgevaar voor de dieren.

3.2.2.3. Studie van het ventilatiepatroon door temperatuurwaarnemingen

Voorgaande methode zal niet noodzakelijk in alle gevallen een volledige en duidelijke verklaring brengen van het ventilatiepatroon. Om dit bezwaar te verhelpen, kan ook worden beroep gedaan op de methodiek steunend op temperatuurwaarnemingen. Deze werkwijze kan dan tevens als bevestiging en aanvulling dienen van voorgaande.

Het onder 3.2.1. gecoördineerd feitenmateriaal, vormt ook hier weer de hoeksteen voor de theoretische verantwoording en de systematische identificatie van luchtstromingen in een willekeurig hok. Ons steunend op deze grondregels zullen wij vooreerst het hok 0/2 bestuderen.

Hok 0/2 (fig. 29 en 30)

Hoofdluchtstroom :

op figuur 29 en 30 blijkt nu duidelijk dat de hoofdluchtstroom volgend verloop kent :

- 1) vanaf de inlaat tot temperatuurprofiel 4 in de nabijheid van het dakbeschot (evenwijdig aan de isothermen: zone 1 tot 4).
- 2) vanaf profiel 4 tot 13, bestrijkt de hoofdluchtstroming de opont-houdszone van de dieren (evenwijdig aan de isothermen : zone 4 tot 13); de overgangszone ligt tussen profiel 4 en 6.
- 3) vanaf profiel 13 vertoont de luchtstroom een ombuiging naar omhoog. De invloed van de ventilator laat zich hier duidelijk voelen.

Merken wij ook de inversie van de temperatuurprofielen 1 tot 4 t.o.v. de profielen 4 tot 15 : de lagere temperaturen in de 4 eerste profielen nabij het dak, en in de overige in de verblijfszone voorkomend. Het ventilatiepatroon geïdentificeerd op deze basis is een bevestiging van het resultaat bereikt door de isovellenmethode (fig. 25).

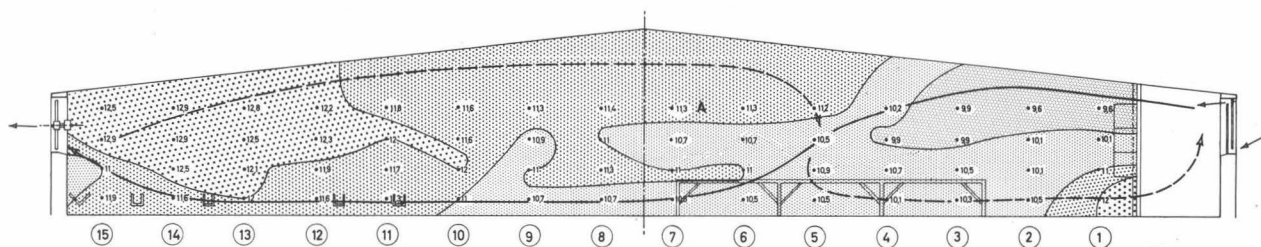
Nevenluchtstroom :

uit de studie van de temperatuurtoestand op de verschillende profielen kan worden afgeleid :

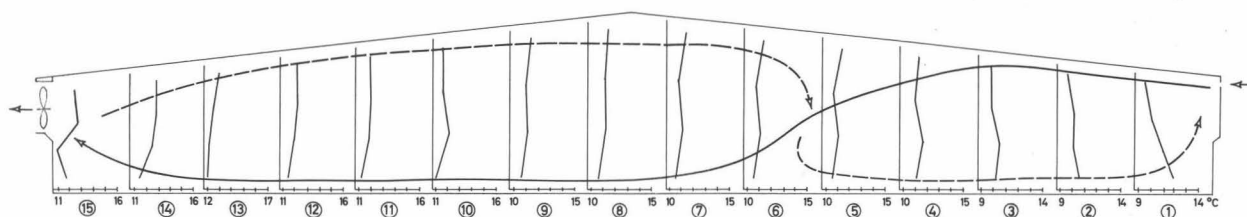
- 1) een eerste nevenluchtstroom ontstaat nabij profiel 6, en is naar de rechterzijwand gericht (verbinden van punten met hogere temperatuur op de profielen). Hij is het gevolg van de inductie in de hoofdluchtstroom vanaf de inlaat tot profiel 4, wat terzeldertijde zijn zin bepaalt.
- 2) verder ontstaat bij de linkerzijwand (buiten het onmiddellijk invloedsbereik van de ventilator) een tweede nevenluchtstroom. De zin van deze stroming nabij de dakconstructie resulteert uit de noodzakelijkheid de geïnduceerde lucht vanaf profiel 6 te vervangen.

Verklaringen bij de cijfergegevens :

de buitentemperatuur gedurende de waarnemingen bedroeg 8 tot 9°C, de thermostaat was ingesteld op 12°C. De gemiddelde luchttemperatuur in de hoogste zone van de stal was 11,31°C en voor de drie lagere zones respectievelijk 11,20°C, 11,25°C en 11,01°C. De temperatuur was dus gemiddeld 0,3°C hoger tegen het dak dan tegen de vloer.



Isothermen en ventilatiepatroon in hok 0/2
figuur 29



Temperatuurprofielen en ventilatiepatroon in hok 0/2
figuur 30

Het hoogst genoteerde temperatuurverschil in de oponthoudszone van de dieren gedurende de waarnemingsperiode was $1,9^{\circ}\text{C}$.

Deze temperatuurprofielmethode laat niet alleen toe het ventilatiepatroon te determineren, doch levert bovendien aanzienlijk meer inlichtingen dan thermograaflezingen (hfst. IV). Zo zouden de thermograafresultaten in het midden van het hok (punt A), alleen een sinusoidale temperatuurvariatie (*) met kleine amplitudo (hoogstens 1°C) hebben weergegeven.

(*) Het temperatuurverschil tussen de op thermostaat ingestelde waarde en de in een bepaald punt waargenomen laagste temperatuur gedurende de ventilatieperiode, geeft de amplitudo van de sinusoidale temperatuurvariatie.

Deze methode laat ook toe de gevaarlijkste plaatsen in het hok te situeren en op die wijze de fouten in de ventilatie te ontdekken. Aldus is op de figuur 29 duidelijk waar te nemen dat de nog relatief koude luchtstroom op de zitstokken terechtkomt, waar de rustende dieren uiteraard gevoeliger zijn voor temperatuurvariaties.

Verder blijkt uit deze waarnemingen dat ook het temperatuurbeeld in een vlak niet uniform gelaagd is, zoals in een ongeventileerd lokaal kan worden verwacht : één enkel temperatuurprofiel volstaat dus niet om de temperatuurtoestand van het lokaal te kenmerken.

Temperatuurwaarnemingen in één punt (thermograaf) verschaffen verder evenmin waarborg voor de toestand in de verblijfszone van de dieren. De amplitudo van de sinusoidale temperatuurvariaties is immers belangrijker nabij de inlaat dan bij de uitlaat.

Hok 0/3

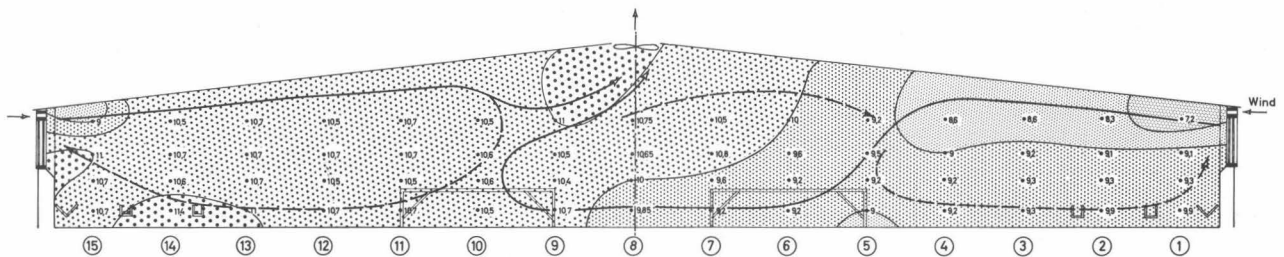
Opname 1 (fig. 31 en 32) : winddruk op rechterwand

Ventilatiepatroon :

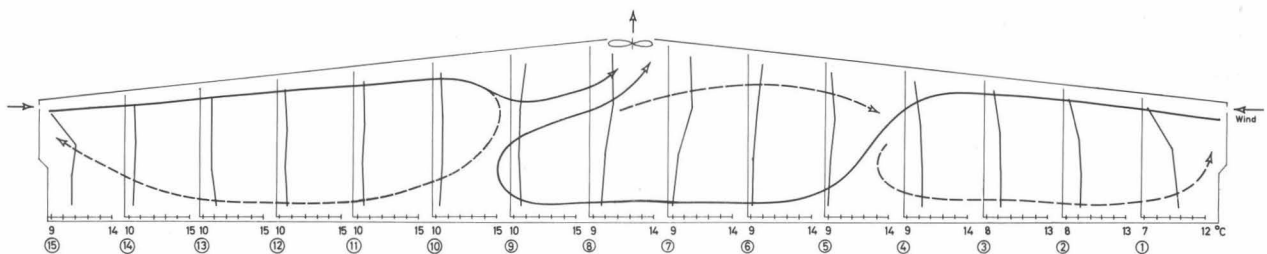
wij stellen een kortsluitluchtstroming vast in beide stalhelften. Vanaf profiel 4 zinkt de hoofdluchtstroom in de rechterhelft nochtans naar de verblijfszone van de dieren als gevolg van de zwaartekracht. In de linkerstalhelft is de temperatuur gemiddeld hoger en de L.S. lager; de zakking van de luchtstroom is hier niet waarneembaar.

Het temperatuurbeeld voor beide stalhelften is dus totaal verschillend : de temperaturen in de rechterhelft zijn aanzienlijk lager dan in de linkerhelft. Dit is natuurlijk het gevolg van de winddruk die een belangrijker intredesnelheid en ventilatie tot gevolg heeft; de rechterluchtstraal kan aldus verder in het hok binnendringen. De temperatuurprofielen bevestigen dit feit (profielen 8 - 9).

Een windscherm voor een gleufvormige inlaat, lijkt derhalve a priori reeds wenselijk zoniet noodzakelijk voor het bekomen van een optimaal en meer uniform ventilatiepatroon in beide stalhelften, waarbij dan de windinvloed gedeeltelijk zou uitgeschakeld worden.



Isothermen en ventilatiepatroon in hok 0/3
figuur 31



Temperatuurprofielen en ventilatiepatroon in hok 0/3
figuur 32

Verklaringen bij de cijfergegevens :

deze opname werd verricht bij een buitentemperatuur tussen 6 en 7°C;
de thermostaat was op 10°C ingesteld.

De gemiddelde temperatuur in de bovenste luchtlaag bedroeg 9,74°C
en voor de lagere zones respectievelijk 10,12°C, 9,94°C en 10,08°C.
De temperatuur in de verblijfszone van de dieren was gemiddeld 0,34°C
hoger dan tegen het dak, wat slechts te verklaren is door de kort-
sluitluchtstroming, waarvan hoger sprake.

Hoewel dit temperatuurverschil blijkbaar laag is, mag niet worden vergeten dat in een niet geventileerde ruimte de temperatuur tegen de dakconstructie normaal 2 - 3°C hoger is dan tegen de vloer.

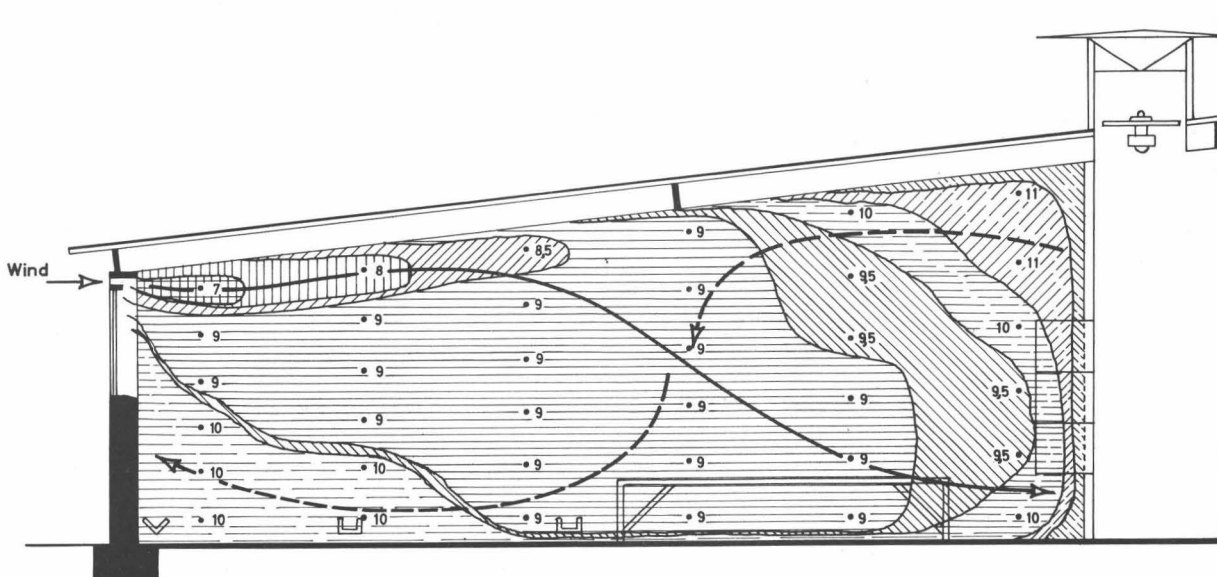
Het hoogst genoteerde temperatuurverschil in de oponthoudszone van de dieren bedroeg gedurende de waarneming 2,40°C.

In acht genomen de insteltemperatuur op thermostaat, zou de amplitudo van de sinusoidale temperatuurvariatie niet zeer groot zijn (maximaal 3°C).

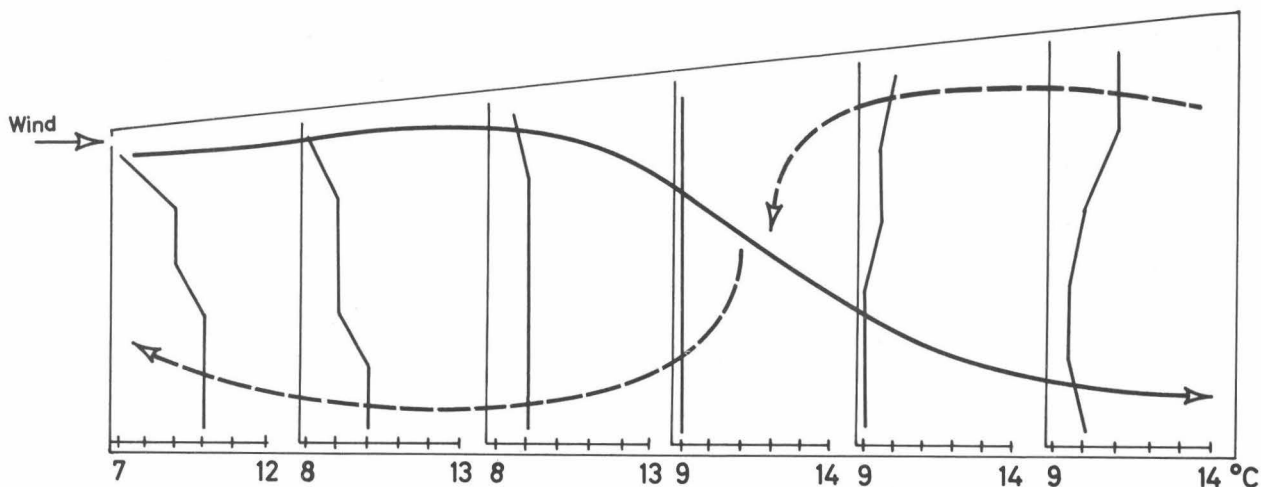
- Opname 2 (fig. 33 en 34) : winddruk op linkerwand

Ventilatiepatroon :

het ventilatiepatroon in de nu bestudeerde linkerstalhelft is gelijkvormig aan dit in de rechterhelft bij opname 1, als gevolg van de omwisseling van de windrichting.



Isothermen en ventilatiepatroon in hok 0/3
figuur 33



Temperatuurprofielen en ventilatiepatroon in hok 0/3
figuur 34

Verklaringen bij de cijfergegevens :

deze waarnemingen werden doorgevoerd bij een buitentemperatuur tussen 6 en 7°C; de thermostaat was ingesteld op 10°C.

Gemiddelde temperatuur nabij het dak : 8,91°C, in de verblijfszone van de dieren 9,5°C. De gemiddelde temperatuur voor de vier tussenliggende zones bedraagt respectievelijk (van boven naar onder) : 9,41°C, 9,25°C, 9,25°C en 9,41°C.

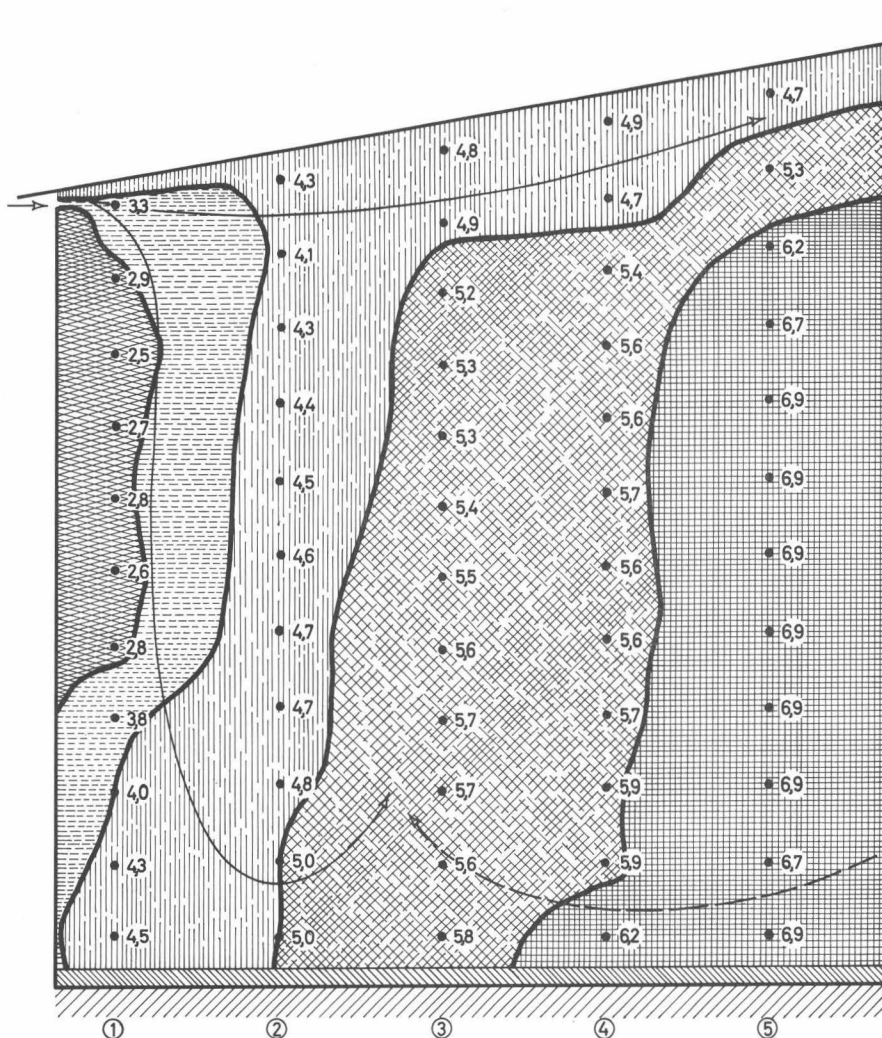
Uit de lage temperatuur van de bovenste zone t.o.v. de onmiddellijk onderliggende, kan worden afgeleid dat de binnankomende luchtstraal een geringe spreidingshoek heeft en over de afstand van de 4 eerste profielen duidelijk langs het dakbeschot verderbeweegt.

- Opname 3 (fig. 35 en 36) : lage buitentemperatuur en zonder duidelijke windinvloed

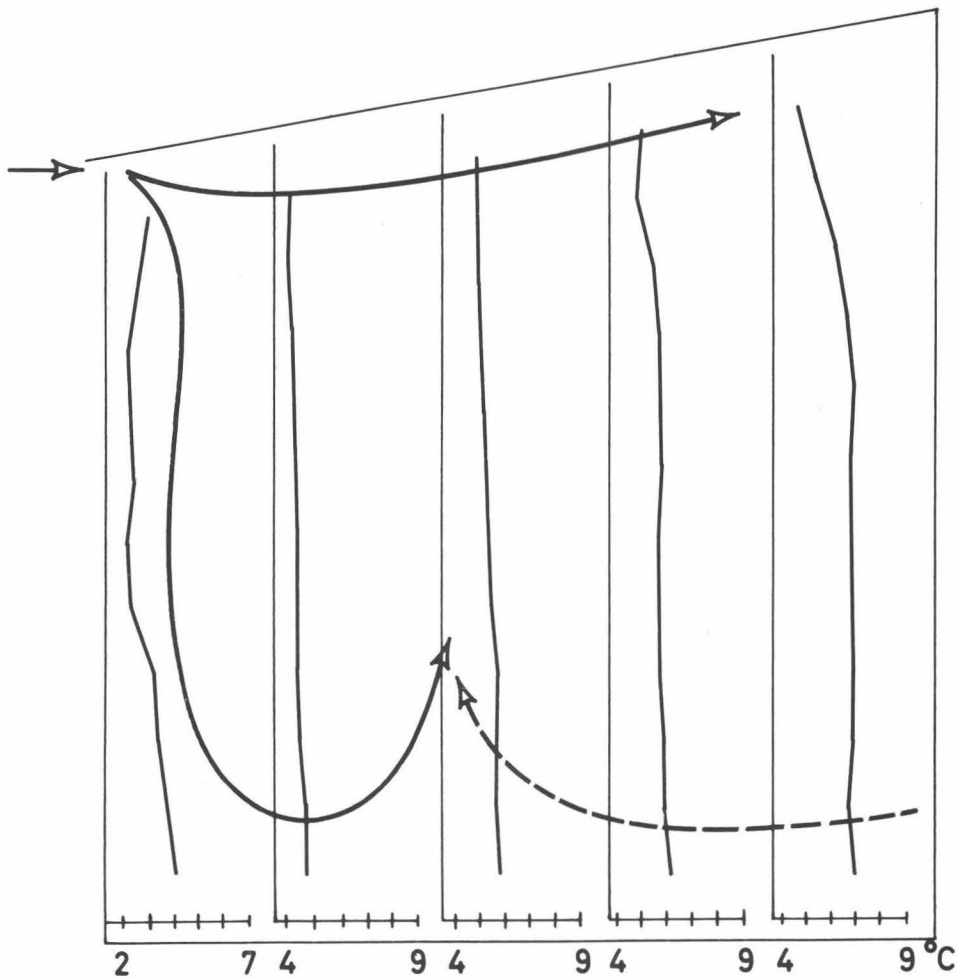
Bij lagere buitentemperatuur (2,5°C) laat de warmtebalans geen voortdurende ventilatie toe. Daarenboven was noch trapvormige, noch traploze regelapparatuur ingebouwd. Wij hebben in dit geval dus te maken met intermitterende werking van de ventilatoren, gevolg van de

enkelvoudige thermostatische regeltechniek. Hoe lager de buitentemperatuur, des te korter de ventilatieduur. Bij temperaturen lager dan 0°C , treedt de mechanische ventilatie nog zelden in werking. Dan gebeurt de luchtverversing practisch uitsluitend langs de bestaande ventilatieopeningen, als gevolg van de optredende drukverschillen, veroorzaakt door het opstijgen van de vochtige en warme lucht.

De luchttemperaturen werden gedetailleerd opgenomen in een vijftal profielen nabij de luchtinlaat. Het laatste profiel werd bepaald op een afstand van 1,30 m van de zijwand, het eerste op een afstand van 10 cm van de zijwand.



Isothermen en ventilatiepatroon in hok 0/3
figuur 35



Temperatuurprofielen en ventilatiepatroon in hok 0/3
figuur 36

Ventilatiepatroon :

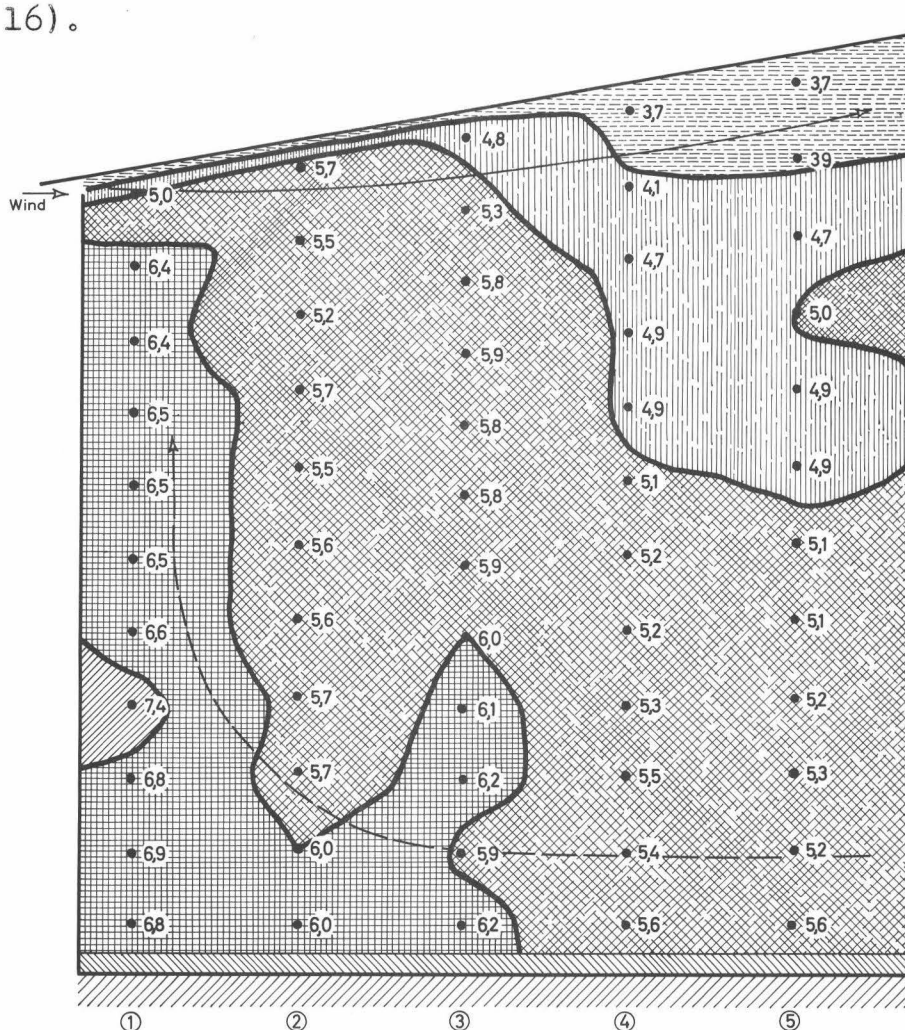
duidelijke kortsluitluchtstroming, alhoewel een hoeveelheid koude lucht langs de zijwand direct naar beneden zinkt (evenwijdig met de isothermen). Niettegenstaande de opmetingen slechts konden geschieden in een klein deel van de doorsnede, kan uit de resultaten toch worden afgeleid hoe het ventilatiepatroon verloopt. Het is duidelijk dat dergelijke luchtcirculatie, zonder mogelijkheid voor beperking van de L.S. en zonder bijverwarming, gevaarlijk is voor de dieren.

De verdere analyse van de cijfergegevens heeft hier weinig betekenis, omdat de ventilatie bij deze opname niet thermostatisch geregeld werd en derhalve afweek van de normale toestand.

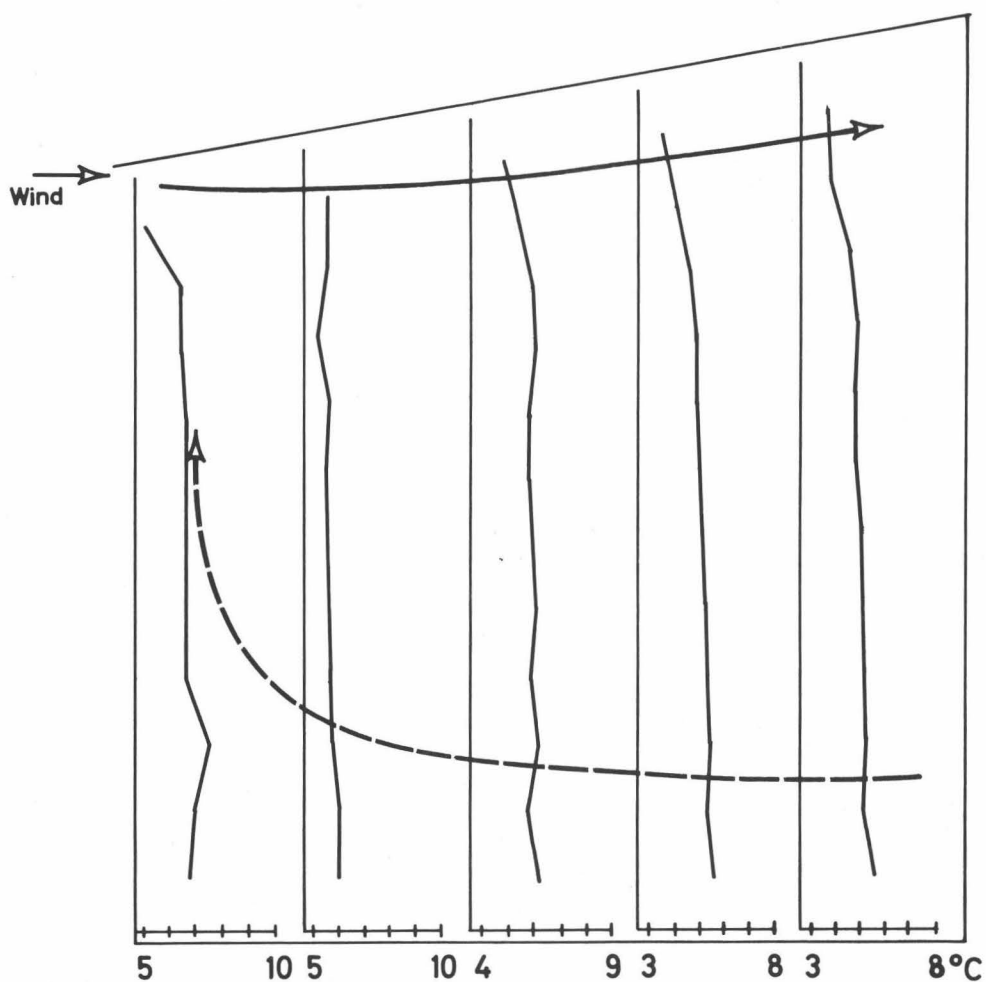
- Opname 4 (fig. 37 en 38) : lage buitentemperatuur (3°C), winddruk op linkerwand

Ventilatiepatroon :

de studie van deze resultaten wijst op een duidelijke kortsluitluchtstroming in het beschouwde gedeelte van de staldoorsnede. Er ontstaat hier geen dalende luchtstroming nabij de zijwand : temperatuurprofiel 1 toont heel wat hogere temperatuurwaarden nabij de verblijfszone dan voor opname 3 werden vastgesteld. De oorzaak daarvan is te zoeken bij de invloed van de wind, die aanleiding geeft tot een hogere intredesnelheid, waardoor de rol van de zwaartekracht relatief geringer wordt (fig. 16).



Isothermen en ventilatiepatroon in hok 0/3
figuur 37



Temperatuurprofielen en ventilatiepatroon in hok 0/3
figuur 38

Uit opname 3 en 4 kan worden afgeleid dat de dieren in een korte tijdspanne aan sterk wisselende temperatuur, luchtsnelheid en luchtstromingen kunnen worden blootgesteld. Ook de luchtsamenstelling zelf is aan sterke wijzigingen onderhevig.

*

*

*

Uit elk van de vorig besproken opnamen volgt dat, voor een gleufvormige inlaat (bij de overgang van wand- naar dakconstructie) en bij

ontbreken van enige luchtstroomrichter, de luchtstralen meestal langs het dakbeschot voortbewegen als halfstralen en aanleiding geven tot volledige kortsluitluchtstroming.

Uitzonderlijk bij lage luchttemperaturen, valt een deel van de luchtstroom direct naar de verblijfszone van bij de zijwand, wat zonder de nodige menging hinderlijk en zelfs schadelijk is.

Uit onze vroegere theoretische beschouwingen (fig. 17 a) volgt, dat bij kortsluitluchtstroming, de luchtbeweging en -verversing in de nabijheid van de dieren door de secundaire luchtstroming worden teweeggebracht. Alhoewel dan ongetwijfeld minder gevaar bestaat voor te hoge L.S. en te lage temperaturen, is de luchtsamenstelling over het algemeen niet bevredigend (hogere verzadigingsgraad : vocht, stalgassen), en het ventilatierendement is onvoldoende.

3.2.2.4. Controle en bevestiging van het gevonden ventilatiepatroon door middel van rooktesten

De figuren 39 tot 43 illustreren hoe de luchtstromingen in een hok zichtbaar gemaakt kunnen worden.

Op elk van de beelden, gekozen uit een talrijke reeks, is het duidelijk dat hier een kortsluitluchtstroming optreedt. Deze waarnemingen zijn dan ook een bevestiging van de vorige vaststellingen. De figuren 42 en 43 illustreren hoe de secundaire luchtstroming in de verblijfszone van de dieren geschiedt. De zin is tegengesteld aan deze van de hoofdluchtstroom.

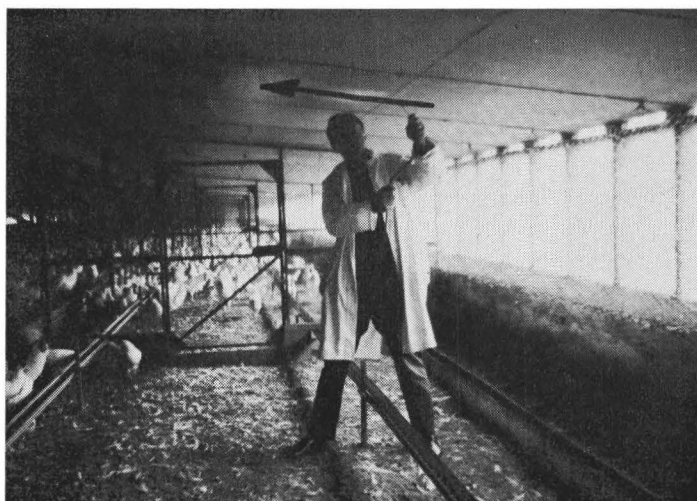
Figuur 44 wijst hoe de hoofdluchtstroom in bepaalde gevallen ook als gevolg van constructiedetails (balk uitstekend onder dakbeschot) naar de verblijfszone van de dieren kan worden gericht.

3.2.2.5. Besluiten

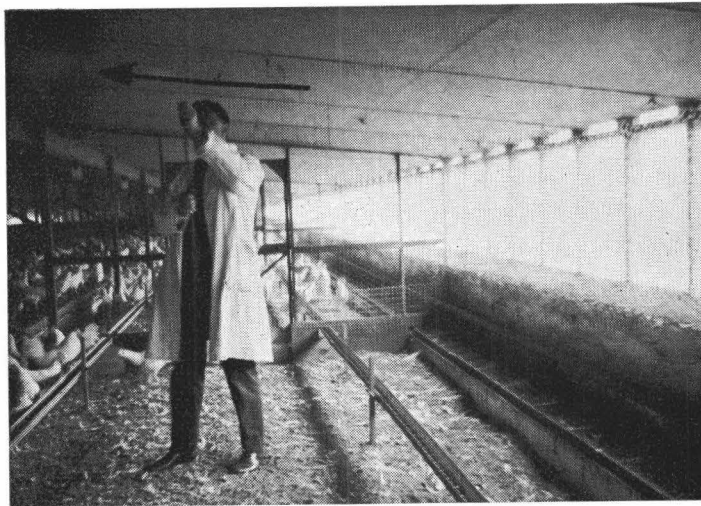
Een gleufvormige inlaat (gleuf voorzien tussen zijwanden en dakconstructie) geeft normaal aanleiding tot een uitgesproken kortsluitluchtstroming, wanneer de afzuiging in de daknok voorzien is.



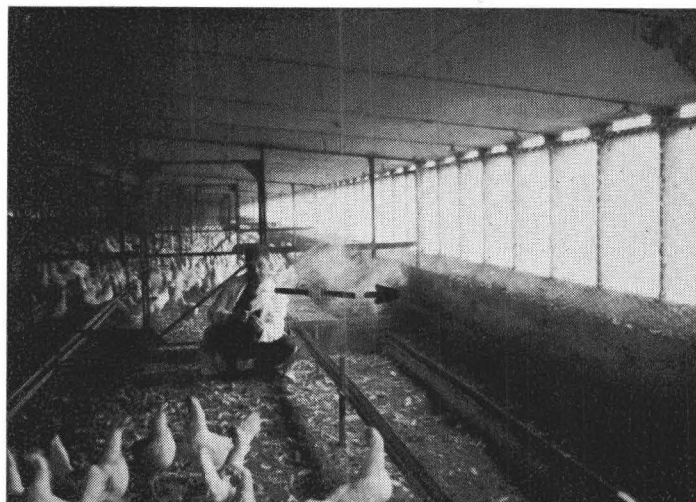
Kortsluitluchtstroom zichtbaar gemaakt met rook
figuur 39



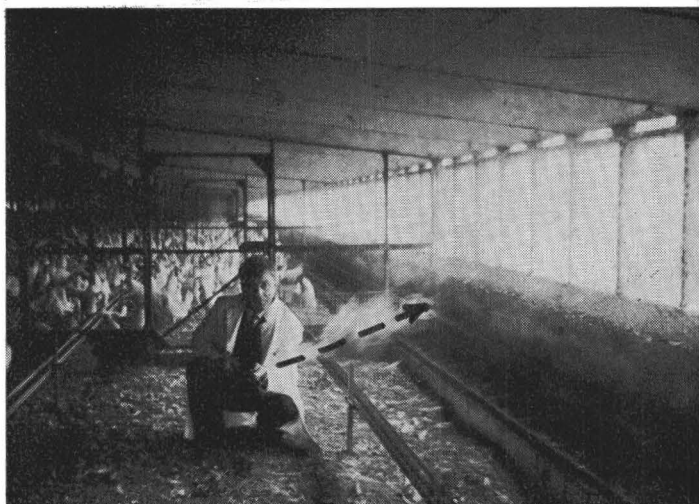
Kortsluitluchtstroom zichtbaar gemaakt met rook
figuur 40



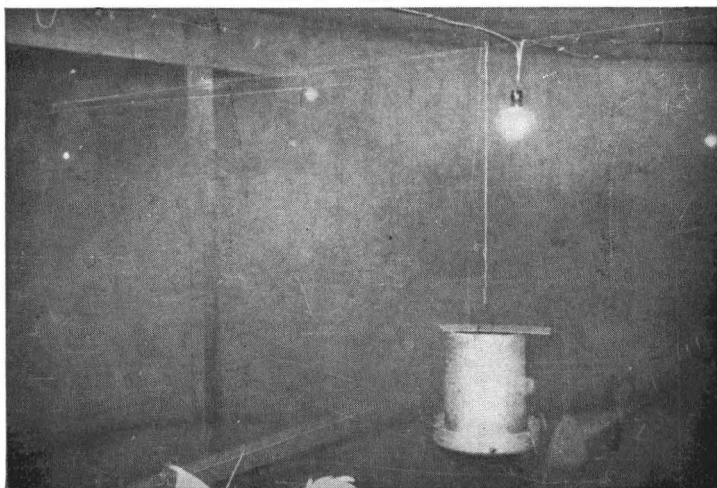
Kortsluitluchtstroom zichtbaar gemaakt met rook
figuur 41



Nevenluchtstroom (stippellijn) zichtbaar gemaakt met rook
figuur 42



Nevenluchtstroom (stippellijn) zichtbaar gemaakt met rook
figuur 43



Hoofdluchtstroom in hok 0/8, omgebogen door balk onder dakbeschot
figuur 44

Indien er een gedeeltelijke kortsluitluchtstroming ontstaat (afbuigen van de primaire luchtstroom op een zekere afstand van de zijwand), kan als oorzaak meestal worden verwezen naar lagere buitentemperaturen die de baan sterk kunnen beïnvloeden. Bij aanwezigheid van een hindernis (bijv. balk onder het dakbeschot) in de baan van de luchtstroom, zal deze eveneens een grondige richtingsverandering ondergaan.

Het is derhalve duidelijk dat het ventilatiepatroon resulterend uit deze inlaatopeningen, in een korte tijdspanne aan zeer sterke wisselingen kan onderhevig zijn en dit bijzonderlijk gedurende de winterperiode. Het spreekt voor zich dat deze variabele toestand niet ideaal is.

Deze vaststellingen zijn gebaseerd zowel op de aërodynamische grondbeginselen, als op de verschillende onderzoeksmethoden die werden toegepast : kleinmodel, isovellen, temperatuurwaarnemingen. De confirmatie kon steeds bij middel van rooktesten worden bekomen.

Het is nu ook duidelijk dat de ventilatie van de oponthoudszone bij kortsluitluchtstroming slechts onrechtstreeks geschiedt, door de secundaire luchtstroom die zijn ontstaan aan het inductie-effect te danken heeft. Deze secundaire luchtstroom is in z'n tegengesteld aan de hoofdluchtstroom. De opwaartse beweging is door inductie te verklaren, alsook door convectiestromingen die hun oorsprong vinden bij de dieren, het strooisel en eventuele andere verwarmingsbronnen.

De secundaire luchtstroom bestaat uit relatief sterker verontreinigde stallucht en is als dusdanig minder geschikt voor de dieren dan de hoofdluchtstroom.

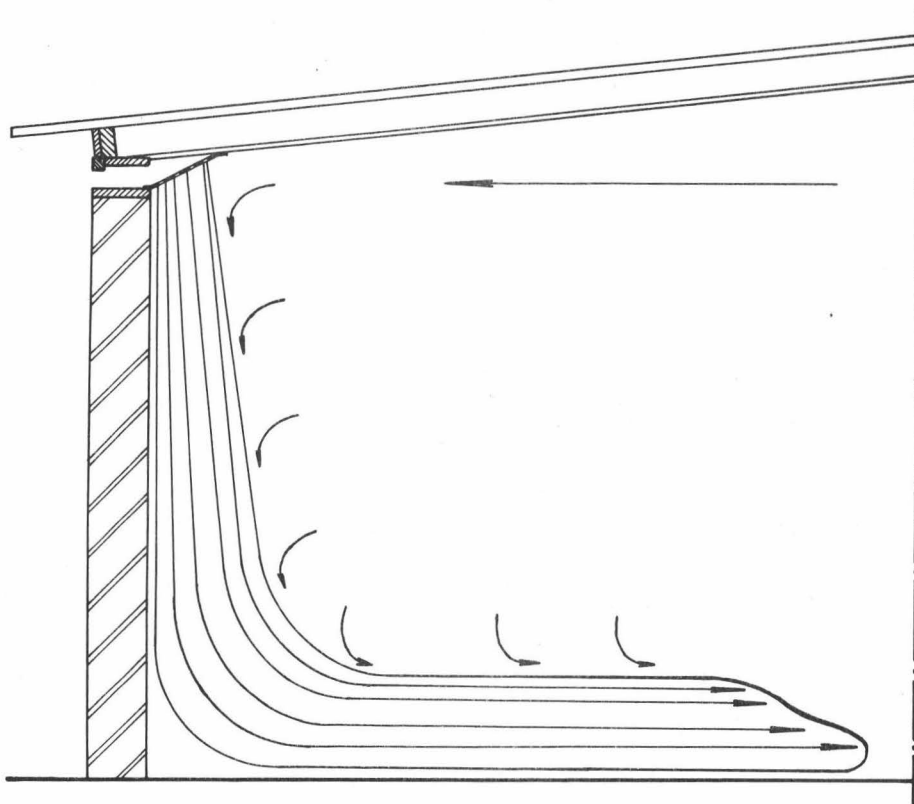
De zuurstofvoorziening en de evacuatie van stof en stalassen uit de verblijfszone kunnen dan onvoldoende zijn of te gering in verhouding met het ventilatiedebiet. Het rendement van dit ventilatiesysteem is derhalve laag, in het bijzonder wanneer een belangrijk deel van de ventilatielucht wordt afgevoerd, zonder ooit in de nabijheid van de dieren te zijn gekomen.

De primaire luchtstroming, die zich langs het dakbeschot voortbeweegt, koelt dit laatste tevens af. Daaruit resulteren dan ook grotere stralingsverliezen van de dieren.

De onder 3.2.1. geformuleerde grondregels werden op de verschillende hokken systematisch toegepast. Uit de resultaten blijkt duidelijk dat de vooropgestelde theorie een vrij breed toepassingsterrein heeft en onontbeerlijk is voor een grondige studie van het ventilatiepatroon.

3.2.3. Het ventilatiepatroon in hokken met verbeterde inlaatopeningen (gerichte luchtstroming)

Teneinde kortsluitluchtstroming en een steeds wisselend ventilatiepatroon te voorkomen, werd een systeem gezocht en op punt gesteld om de primaire luchtstroming bestendig en onder comfortvoorwaarden binnen de oponthoudzone van de dieren te brengen. Dit werd verwezenlijkt door een wijziging aan de vroeger besproken inlaatvorm. Schematisch wordt het bereikte resultaat op figuur 45 voorgesteld.



Schematische uitbeelding van het
verloop van een gerichte luchtstraal
figuur 45

De ventilatielucht dient nu over een vrij korte afstand voldoende met stallucht te worden aangerijkt, zodat de L.S. beneden de gevaarlijke grens wordt gebracht en de temperatuur aan de comfortvoorwaarden van de dieren beantwoordt.

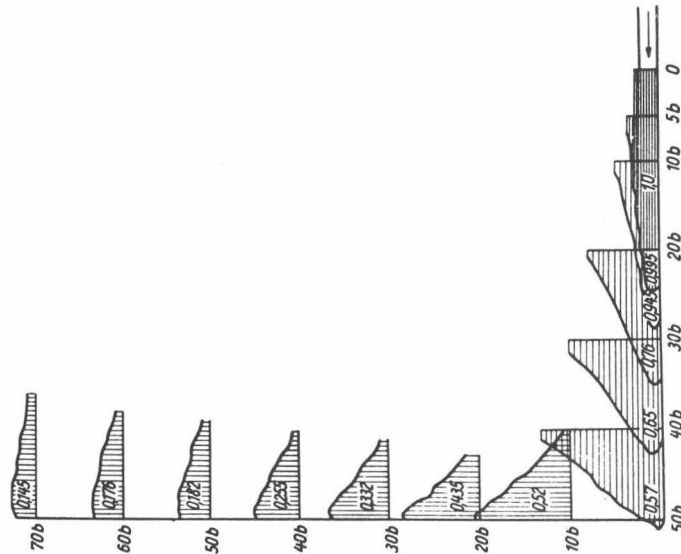
Bij het aanbrengen van een gewone richtplaat voor de inlaat, kan aan de hoofdluchtstroom een bepaalde baan worden opgelegd (zie bijv. invloed van balk onder dakbeschot op het ventilatiepatroon : 3.2.2.4.). In dit geval ontstaan nochtans belangrijke risico's voor de dieren : de L.S. in de verblijfszone overtreft de toegelaten richtcijfers in waarde en de luchttemperatuur is aan belangrijke schommelingen onderhevig; het gevaar voor tochtverschijnselen is dan ook reëel. Het is duidelijk dat deze toestand het gevolg is van een gebrekkige spreiding van de luchtstraal en dus van een onvoldoende bijmenging van stallucht, zonder dewelke noch de temperatuur, noch de L.S. aan de vereiste voorwaarden kunnen voldoen, in het bijzonder gezien de afgelegde weg van inlaat tot verblijfszone nu zeer kort is.

Naar het voorbeeld van de ventilatie van industriegebouwen, hebben wij dan voor de inlaat een geperforeerde plaat aangebracht.

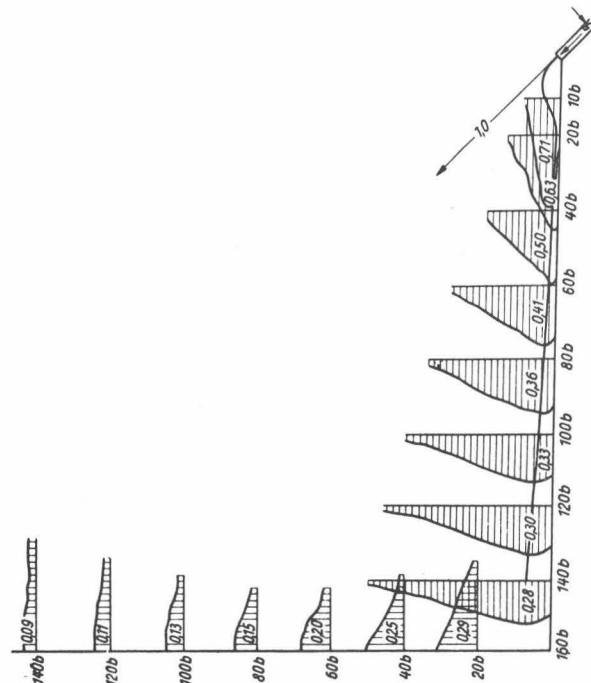
Een dunne aluminiumplaat ($d < 1$ mm) met perforaties van 15 of 22 mm diameter, werd als een probaat middel bevonden voor het tot stand brengen van een efficiënte luchtstroming met de gewenste optimale karakteristieken. Deze plaat wordt schuin voor de inlaat aangebracht, en wel zodanig dat de hoek tussen een normale op de richtplaat en de zijwand, kleiner blijft dan $40 - 45^\circ$.

Hiermede wordt bereikt dat de intredende luchtstraal zich als halfstraal tegen de zijwand van boven naar onder verplaatst. Figuur 46 illustreert hoe een luchtstraal verloopt die, als gevolg van de richting van de as van de doorlaat, evenwijdig aan een wand ontstaat. Figuur 47 wijst hoe de luchtstroom zich gedraagt, wanneer de as van de doorlaat een hoek maakt van 45° met de wand (BATURIN, 1959).

De in deze figuren gebruikte symbolen zijn als volgt te verklaren. De diameter van de doorlaat wordt voorgesteld door b . De afstand van een punt op de wand tot de inlaat zelf, wordt uitgedrukt als een veelvoud van b (bijv. $20 b$). De cijfers bij de snelheidsprofielen opgetekend, geven de verhouding weer van de maximale snelheid in het betreffend profiel tot de snelheid bij de inlaat $\frac{v_x}{v_0}$.



Karakteristieken en verloop van een halfstraal
volgens BATURIN (1959) (hoek tussen as van inlaat en wand = 0°)
figuur 46



Karakteristieken en verloop van een halfstraal
volgens BATURIN (1959) (hoek tussen as van inlaat en wand = 45°)
figuur 47

De plaat die tijdens ons onderzoek als luchtstroomrichter werd benut, heeft een breedte van 30 cm. Voor de uitvoering met openingen van 15 mm, werden 5 rijen perforaties voorzien. Per meter lengte van de plaat bedraagt het aantal openingen 130. De oppervlakte van de perforaties per meter inlaat wordt aldus $229,6 \text{ cm}^2$, terwijl de eigenlijke gleufinlaat in de wand een oppervlakte heeft van 500 cm^2 .

Voor de plaat met de 22 mm-openingen werden 4 rijen perforaties aangebracht. Het aantal openingen per meter plaat bedraagt 64 met een totale doorlaatoppervlakte van 243 cm^2 .

In beide gevallen is de verhouding : vrije inlaat/totale inlaat $< 0,5$. Door vergelijking van deze toestand met het onderzoek van HEUSMANN (1965), kan onder de beschouwde voorwaarden worden aangenomen, dat de luchtstraaltjes nagenoeg loodrecht op de plaat uit treden. Gezien echter nabij de zijwand geen inductie kan optreden bij de aanvang van de hoofdluchtstroom, ontstaat daar een onderdruk, waardoor de globale luchtstraal tegen de zijwand gedrukt wordt door de secundaire luchtstroming.

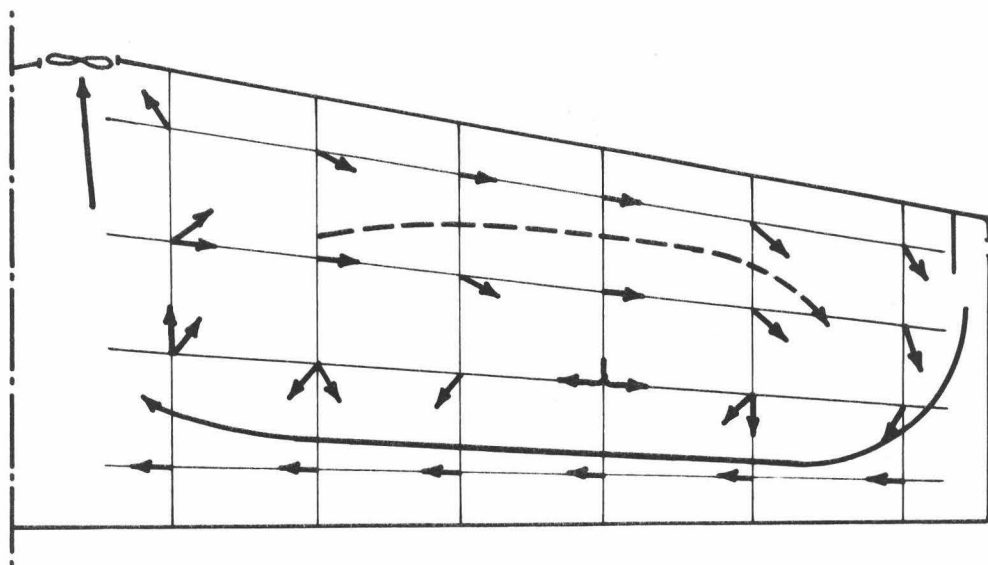
De afzonderlijke luchtstraaltjes voegen zich na een korte tijdspanne samen tot een resulterende meer homogene luchtstroming : een vlakke halfstraal. De turbulentie in de talrijke straaltjes onmiddellijk bij de inlaat, geeft aanleiding tot grondige menging met de stallucht.

Voor de harmoniëring van warmte- en vochtbalans gedurende de winter is een bijverwarming noodzakelijk (hfst. II). Het is logisch de warmtetoevoer door warmwaterbuizen nabij de zijwand te voorzien. De afgegeven convectiewarmte wordt op die manier in de verse luchtstroom opgenomen, terwijl het algemeen stromingsbeeld nagenoeg ongewijzigd blijft. Ook bodemverwarming kan worden toegepast; indien deze minder rechtstreeks de primaire luchtstroom beïnvloedt, is zij evenwel doeltreffender voor het drooghouden van het strooisel.

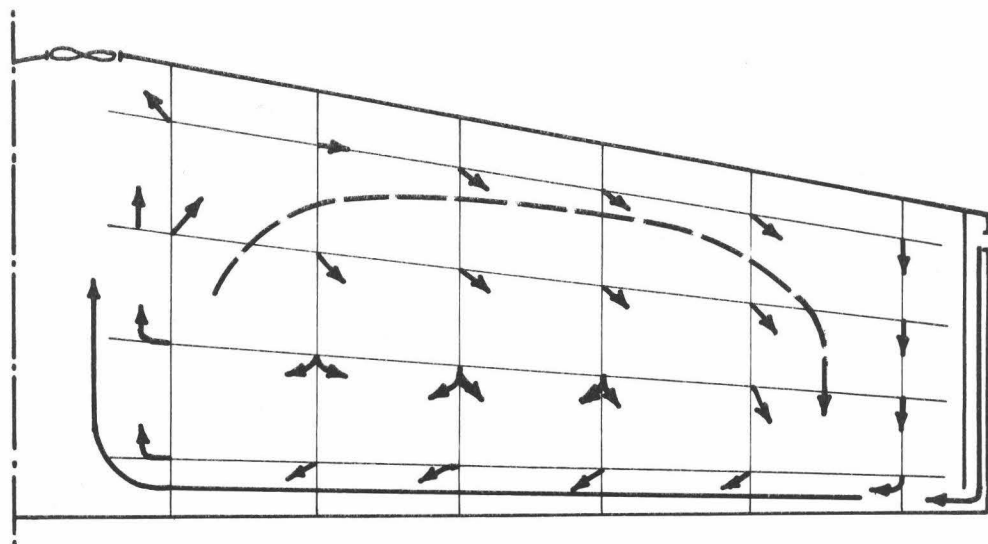
3.2.3.1. Oriënterende voorstudie van het ventilatiepatroon op kleinmodel

Enkele waarnemingen op kleinmodel, onder isotherme voorwaarden, worden in de figuren 48 tot 50 weergegeven. De optredende primaire en secundaire luchtstromingen kunnen hiervan worden afgeleid. Deze 3 figuren geven achtereenvolgens de verschillende gekozen systemen, met de res-

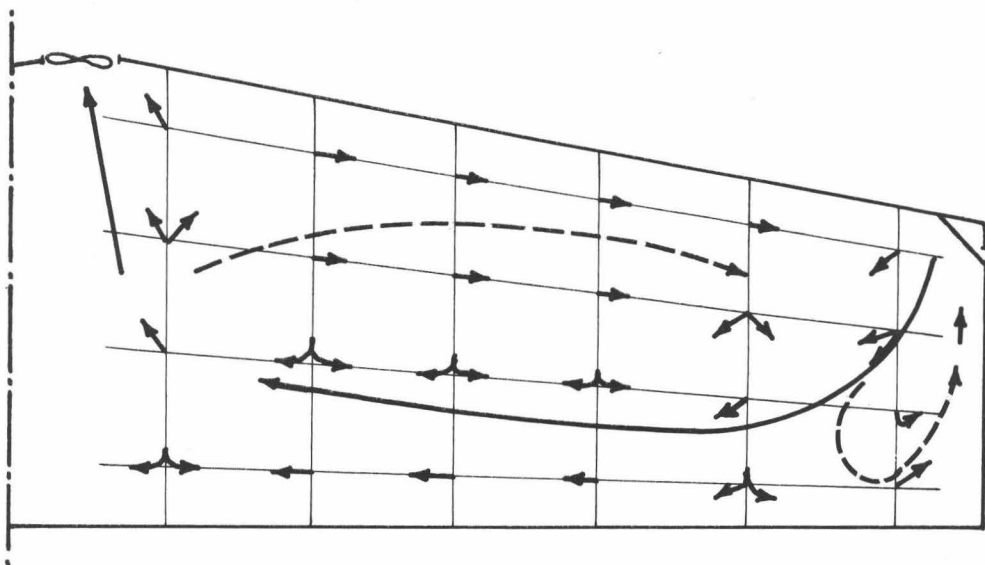
pectievelijke resultaten. Het is duidelijk dat met elk dezer het hoofddoel wordt bereikt : het richten van de hoofdluchtstroom naar de verblijfszone. Nochtans dient hier nog te worden nagegaan of in praktijk aan de comforteisen van de dieren wordt voldaan.



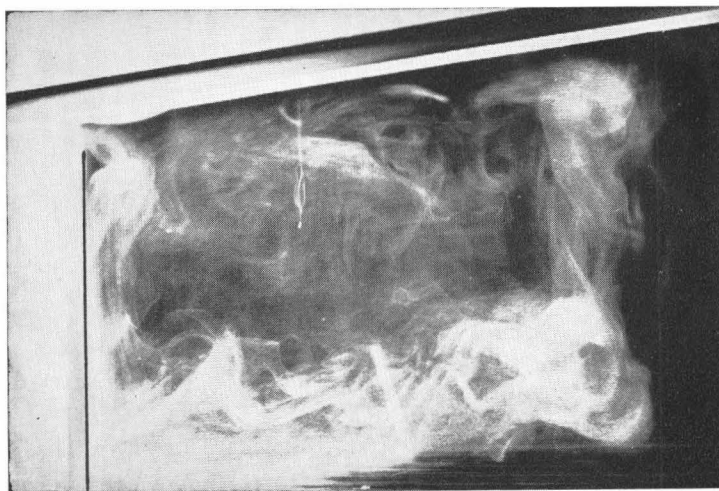
Ventilatiepatroon in kleinmodel
figuur 48



Ventilatiepatroon in kleinmodel
figuur 49



Ventilatiepatroon in kleinmodel
figuur 50



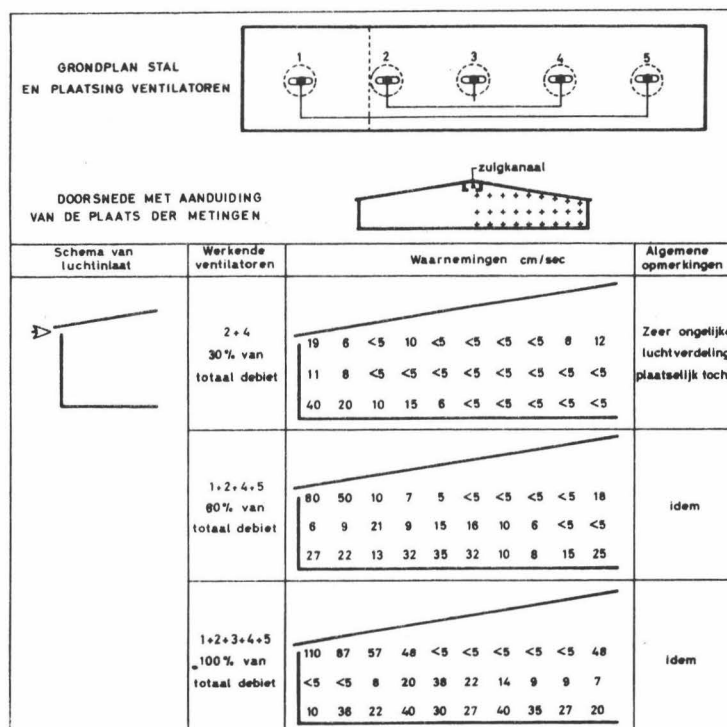
Gerichte hoofdluchtstroom zichtbaar gemaakt met rook (kleinmodel)
figuur 51

Uit figuur 50 zou blijken dat de optredende luchtstroming geen halfstraal is. Dit strookt echter niet met de werkelijke toestand bij de verschillende opnamen in het prototype, wat meteen bewijst dat een volkomen gelijkvormigheid niet in alle gevallen wordt bereikt. Ongetwijfeld liggen de bij het prototype optredende temperatuurverschillen mede aan de basis van de waargenomen verschillen. De studie op het model gebeurde immers bij isotherme voorwaarden. Bij rooktesten op het model werd de gerichte hoofdluchtstroming wel als halfstraal geïdentificeerd (fig. 51) (rook met hoger soortelijk gewicht dan de omringende lucht, vergelijkbaar met niet-isotherme luchtstroming in prototype).

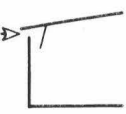
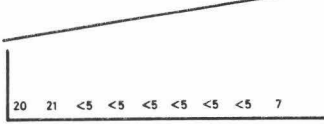
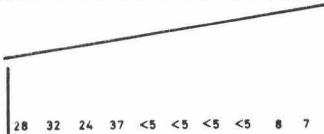
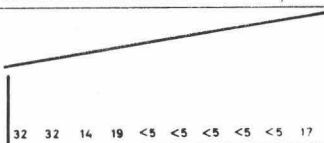
3.2.3.2. Studie van het ventilatiepatroon door opname van L.S.

De studie van de luchtstroom door waarnemingen over L.S. is hier onmogelijk gebleken wegens de lage snelheden die zeer moeilijk nauwkeurig te meten zijn. Daarenboven wordt het ook moeilijk, zoniet onmogelijk, om isovellen uit te tekenen.

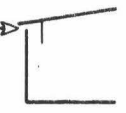
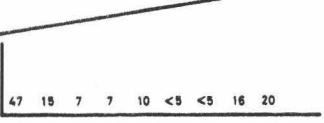

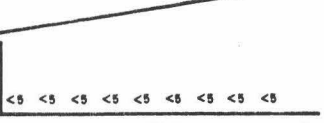
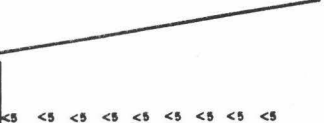
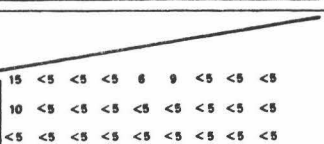
Een overzicht van de toestand van L.S. bij verschillende onderzochte systemen wordt gegeven in de figuren 52, 53 en 54. Het betreft hier een N-nok zonder verwarming en met trapvormige ventilatieregeling.



Schematische voorstelling van resultaten
van L.S.-metingen (niet-gerichte luchtstroming)
figuur 52

	2+4 30% van totaal debiet	 <p>20 21 <5 <5 <5 <5 <5 <5 7</p>	Ongelijke luchtverdeling
	1+2+4+5 60% van totaal debiet	 <p>28 32 24 37 <5 <5 <5 <5 8 7</p>	Ongelijke luchtverdeling Gevaar voor tocht
	1+2+3+4+5 100% van totaal debiet	 <p>32 32 14 19 <5 <5 <5 <5 <5 17</p>	idem

Schematische voorstelling van resultaten
van L.S.-metingen (gerichte luchtstroming)
figuur 53

	1+2+3+4+5 100% van totaal debiet	 <p>47 15 7 7 10 <5 <5 16 20</p>	Ongelijke luchtverdeling Plaatselijk tocht
	2+4 30% van totaal debiet	 <p><5 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5</p>	Regelmatige luchtverdeling
	1+2+4+5 80% van totaal debiet	 <p><5 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5</p>	Regelmatige luchtverdeling
	1+2+3+4+5 100% van totaal debiet	 <p>15 <5 <5 <5 8 9 <5 <5 <5 10 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5 <5</p>	Regelmatige luchtverdeling

Schematische voorstelling van resultaten
van L.S.-metingen (gerichte luchtstroming)
figuur 54

De waarnemingen vermeld in figuur 52 werden verricht vooraleer een luchtstroomrichter voor de inlaat was aangebracht.

Nadien werd een eenvoudige plaat opgehangen voor de inlaat (fig. 53 en 54 : 1e geval), later nog werd de geperforeerde luchtstroomrichtplaat uit aluminium aangewend (fig. 54 : 2e - 3e en 4e geval).

3.2.3.3. Studie van het ventilatiepatroon door middel van temperatuurwaarnemingen

De N-hokken hierna besproken, beschikken over een kunstmatige verwarming : N/2 heeft een bodemverwarming, N/7 luchtverwarming.

De onder 3.2.1. geformuleerde grondregels zullen ook hier weer de basis vormen voor de systematische interpretatie van de temperatuurwaarnemingen. Wij zullen evenwel niet telkens opnieuw beroep doen op de bewijsvoering voor het uittekenen van de luchtstromingen, gezien steeds naar dezelfde grondregels zou moeten verwezen worden.

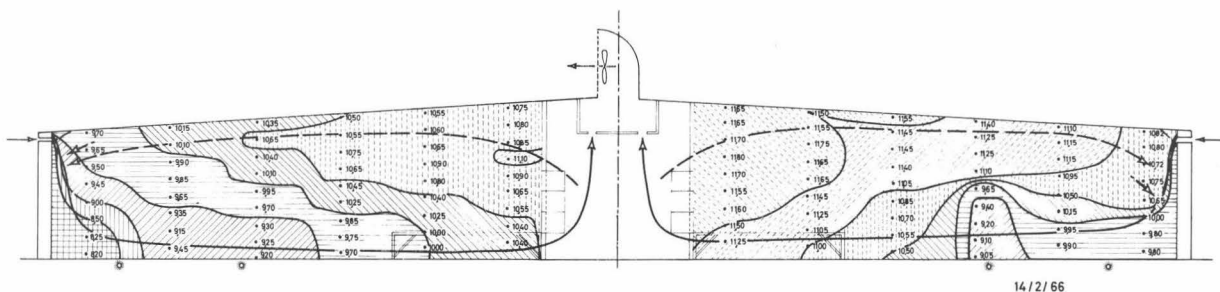
Ho N/3 (= hok N/2) (fig. 55 en 56)

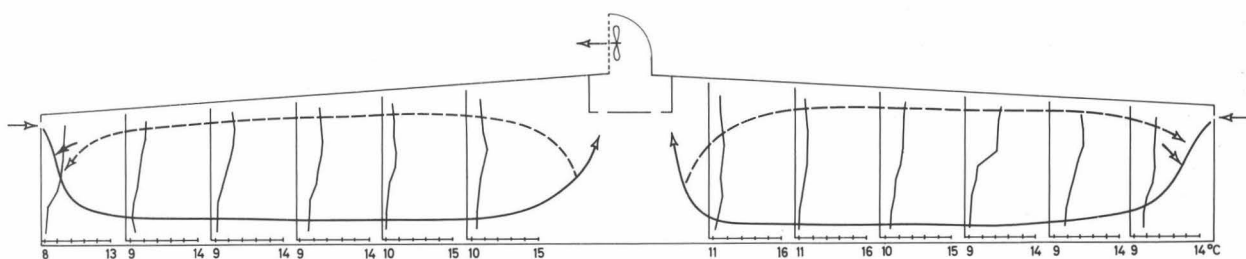
Hok met bodemverwarming.

Ventilatiepatroon :

in tegenstelling met de opnamen onder 3.2.2. is hier een uitgesproken naar omlaag gerichte luchtbeweging vast te stellen. Dit blijkt zowel uit de studie van de isothermen (fig. 55) als uit de analyse van de temperatuurprofielen (fig. 56).

Het 3e profiel vanaf de rechterzijwand vertoont onderaan lagere temperaturen, wellicht omdat dit profiel werd opgenomen op het einde van een ventilatieperiode.





Temperatuurprofielen en ventilatiepatroon in hok N/3
figuur 56

Verklaringen bij de cijfergegevens :

buitentemperatuur op het ogenblik van de waarnemingen : $1,5^{\circ}\text{C}$.

Thermostaatinstelling : 12°C .

De gemiddelde temperatuur voor de verschillende horizontale zones bedraagt respectievelijk : $9,87^{\circ}\text{C}$ (verblijfszone), $9,89^{\circ}\text{C}$, $10,06^{\circ}\text{C}$, $10,33^{\circ}\text{C}$, $10,59^{\circ}\text{C}$, $10,83^{\circ}\text{C}$, $10,87^{\circ}\text{C}$ en $10,93^{\circ}\text{C}$ (bovenste zone : 20 meetpunten).

Het verschil tussen de gemiddelde temperatuur van de bovenste en onderste zone bedraagt $1,06^{\circ}\text{C}$; de hoogste gemiddelde temperatuur treedt op tegen de dakconstructie, dit in tegenstelling met de toestand bij kortsluitluchtstroming.

Het maximale temperatuurverschil in de oponthoudszone van de dieren beliep $3,05^{\circ}\text{C}$.

Rekening houdende met de buitentemperatuur heersend op het ogenblik van deze opname mag het globale temperatuurbeeld, als gevolg van dit ventilatiepatroon, als zeer gunstig worden beschouwd.

Men heeft bovendien de zekerheid dat de lucht die de dieren bereikt, zuurstofrijker is en relatief minder verontreinigd dan een secundaire luchtstroming.

Zoals hiervoor bewezen (3.2.3.2.) kan ook de L.S. voldoende laag worden gehouden, zodat het microklimaat als gunstig kan worden aanzien.

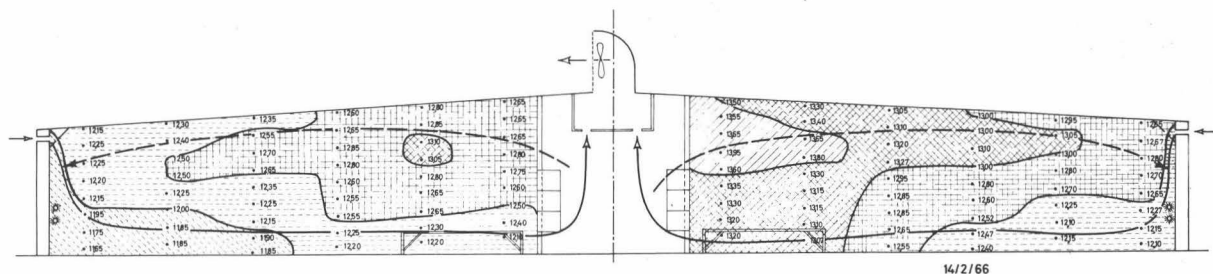
Hok N/7 (fig. 57 en 58)

Hok waar tegen de zijwanden onder de luchtinlaatopeningen warmwaterbuizen zijn aangebracht.

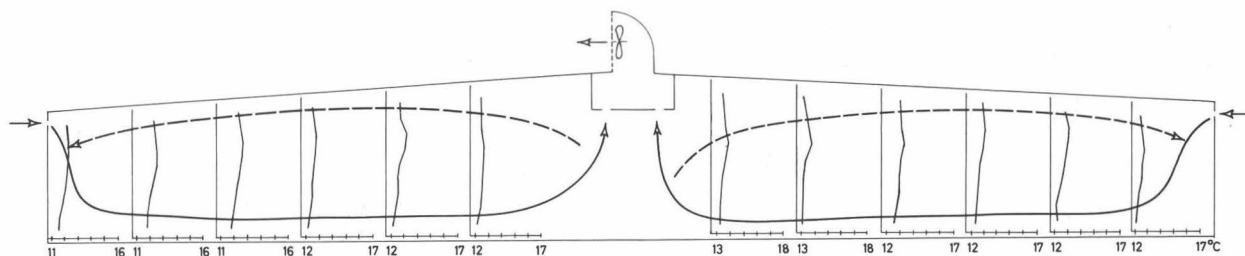
Ventilatiepatroon :

de opnamen wijzen een naar onder gerichte primaire luchtstroming aan. Een secundaire stroming wordt aangetroffen nabij het dakbeschot.

Het ventilatiepatroon is dus volledig identisch als bij vorige opnamen.



Isothermen en ventilatiepatroon in hok N/7
figuur 57



Temperatuurprofielen en ventilatiepatroon in hok N/7
figuur 58

Verklaringen bij de cijfergegevens :

buitentemperatuur op het ogenblik van de opname : $1,5^{\circ}\text{C}$.

Thermostaatinstelling : 12°C .

Dit ventilatiepatroon resulteert opnieuw in een voor de dieren gunstige temperatuurtoestand, wat bewijst dat de binnenkomende ventilatielucht goed gemengd wordt met de convectiewarmte van de verwarmingsbuizen en met stallucht. De luchtverversing geschiedt hier ongetwijfeld andermaal zeer efficiënt.

Het temperatuurverschil tussen de gemiddelde waarde van de onderste en van de bovenste zone bedroeg $0,58^{\circ}\text{C}$.

Het maximale temperatuurverschil in de verblijfszone van de dieren was $1,55^{\circ}\text{C}$.

De gemiddelde temperatuur voor de verschillende zones bedroeg respectievelijk (van onder tot boven) : $12,28^{\circ}\text{C}$, $12,34^{\circ}\text{C}$, $12,51^{\circ}\text{C}$, $12,65^{\circ}\text{C}$, $12,78^{\circ}\text{C}$, $12,82^{\circ}\text{C}$, $12,94^{\circ}\text{C}$ en $12,86^{\circ}\text{C}$.

De globale temperatuurtoestand vertoont geen wezenlijk verschil met de opname voor bodemverwarming. Nochtans komen hier minder isothermen voor, wat op een snellere opwarming van de stallucht wijst.

De temperaturen zijn gemiddeld hoger dan voor N/3. In hok N/3 met bodemverwarming, dient de warmte in de eerste plaats voor het drooghouden van het bodemstrooisel. Dit wordt trouwens bevestigd door vergelijking van de toestand van het strooisel voor een hok met luchtverwarming t.o.v. een hok met bodemverwarming (3.2.6.).

Hok N/2 : vensterloos hok, waarnemingen nabij de inlaat na het uitschakelen van de verwarming

- Opname 1, 2 en 3 (fig. 59, 60, 61, 62, 63 en 64)

Wij wensen nu ook een analyse te maken van de invloed van het ventilatiedebiet op het ventilatiepatroon. Deze studie zal ons ook aantonen in hoever de winddruk nog een invloed kan uitoefenen op het ventilatiepatroon.

Deze metingen gebeurden bij een buitentemperatuur van $0 - 1^{\circ}\text{C}$.

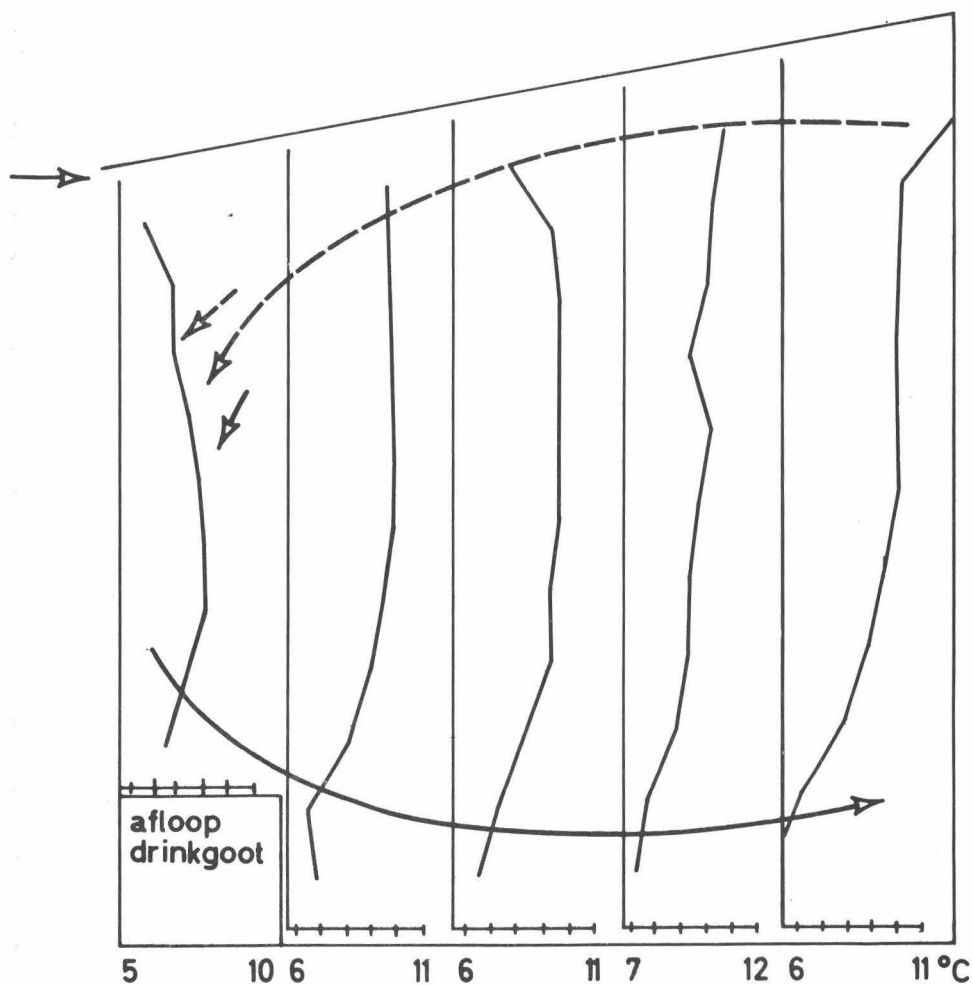
De ventilatie werd, ongeacht de staltemperatuur, in werking gehouden gedurende de tijd nodig voor de waarnemingen, zodat de temperatuurgegevens alleen te gebruiken zijn voor het ventilatiepatroon. Voor het beoordelen van het comfort zijn zij van geen tel.

De eerste opname in deze reeks (fig. 59 en 60) werd verricht bij werking van 2 ventilatoren op een totaal van 5. Het ventilatiedebiet is dan ongeveer 30 % van het maximale; dit is de normale ventilatiehoeveelheid bij lage buitentemperaturen.



Isothermen en ventilatiepatroon
in hok N/2 (30 % ventilatie)

figuur 59



Temperatuurprofielen en ventilatiepatroon
in hok N/2 (30 % ventilatie)

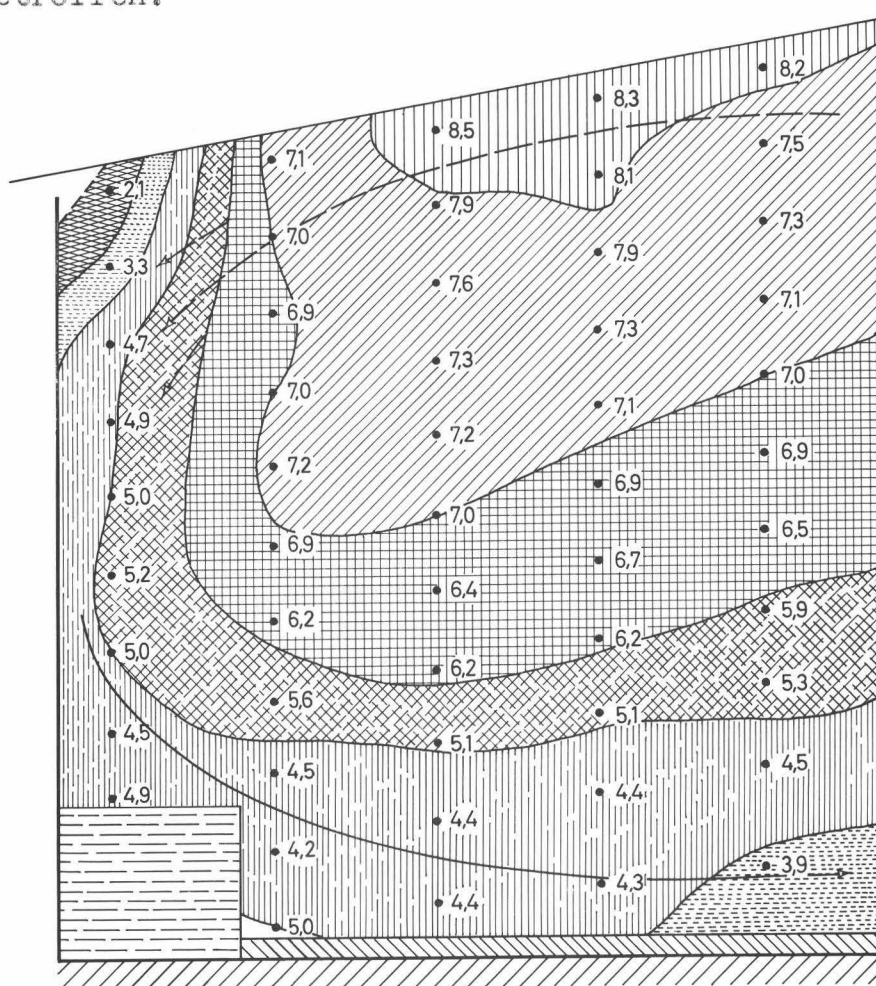
figuur 60

De temperatuur van 5,7°C in de onmiddellijke nabijheid van de inlaat bewijst, dat de langzaam binnentredende lucht snel en grondig met geïnduceerde stallucht wordt gemengd. De temperatuur in de verblijfszone van de dieren is ongeveer 6°C hoger dan de buitenluchttemperatuur.

De temperatuurwaarnemingen laten een geschikt ventilatiepatroon veronderstellen. Een zeker voorbehoud dient nochtans gemaakt voor de lage temperaturen en de belangrijke sinusoidale temperatuurvariatiën die zouden kunnen optreden bij intermitterend werken van de luchtverversing.

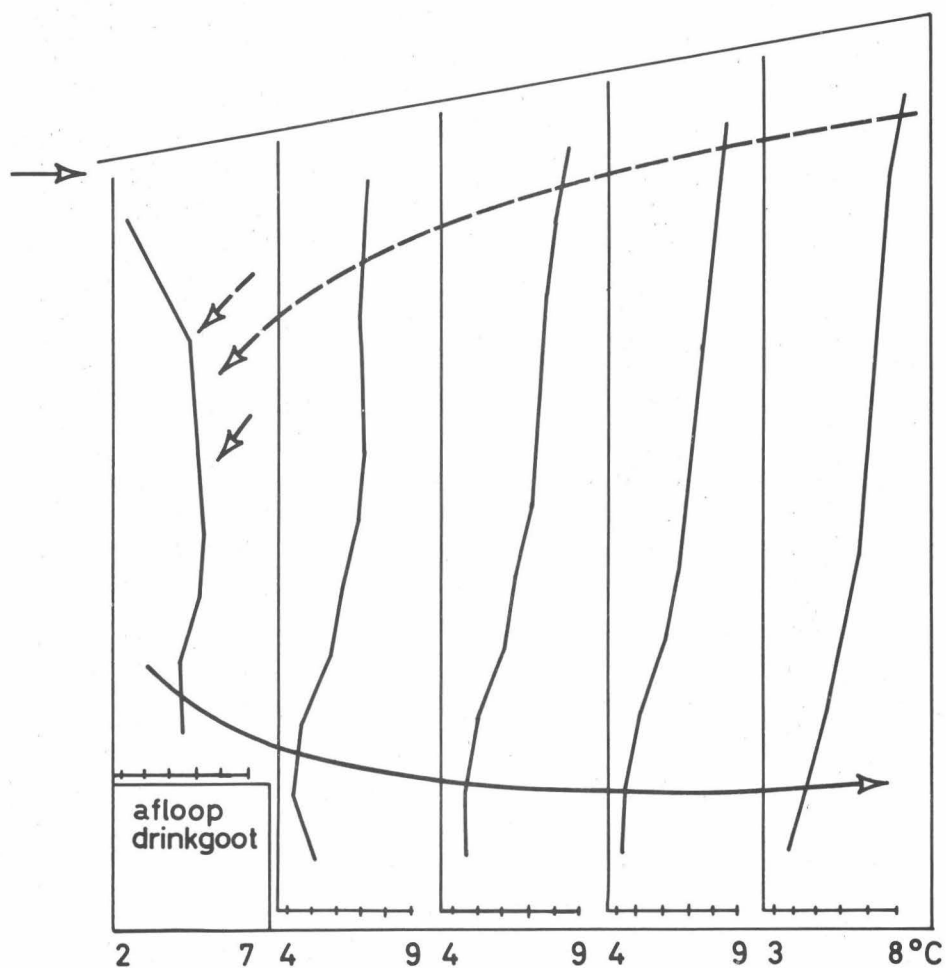
Daarom is het dan ook aanbevolen dit ventilatiesysteem te gebruiken in combinatie met een kunstmatige verwarming nabij de zijwanden, waardoor ook nog de mogelijks te hoge lichtsnelheden (bij hoog ventilatiedebiet) zullen worden afgeremd.

De tweede opname in deze reeks (fig. 61 en 62) werd verricht bij 60 % ventilatie. Een volkomen analoog isothermisch beeld wordt ook hier aangetroffen.



Isothermen en ventilatiepatroon
in hok N/2 (60 % ventilatie)

figuur 61



Temperatuurprofielen en ventilatiepatroon
in hok N/2 (60 % ventilatie)

figuur 62

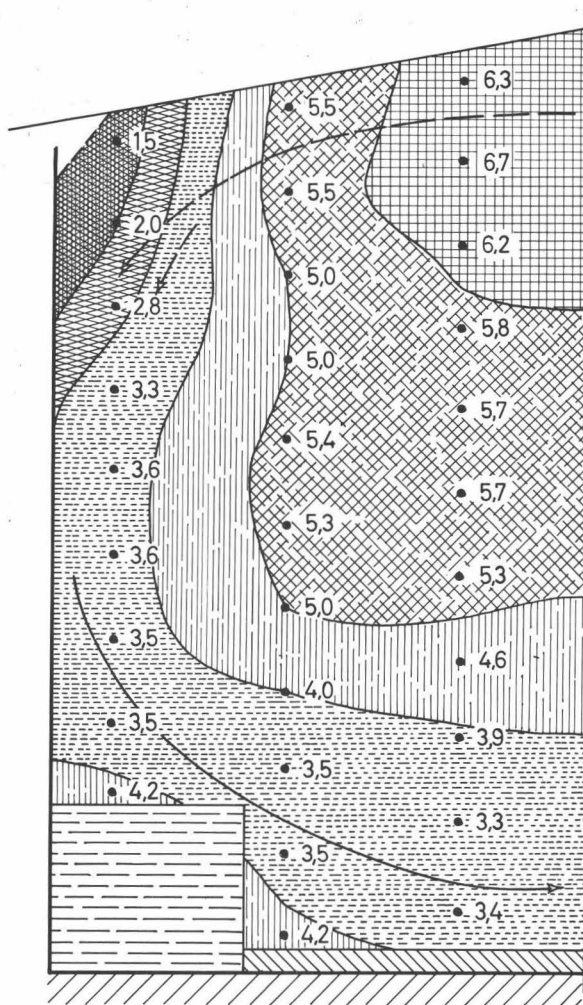
Door de hogere luchtsnelheid bij de intrede en de belangrijkere aanvoer van koude lucht is de temperatuur in elk van de opgemeten profielen in verhouding lager. Het eigenlijke luchtstromingsbeeld wordt nochtans nagenoeg niet gewijzigd.

Het verschil in temperatuur van buitenlucht en van het micro-klimaat is nauwelijks nog 4°C.

Dit zou er op wijzen dat met een gerichte luchtstroom de ventilatiehoeveelheid noodzakelijkerwijze moet kunnen worden gedoseerd (bij voorkeur door toerenregeling van de ventilatoren) in functie van het buitenklimaat om te sterke temperatuurwisselingen te vermijden.

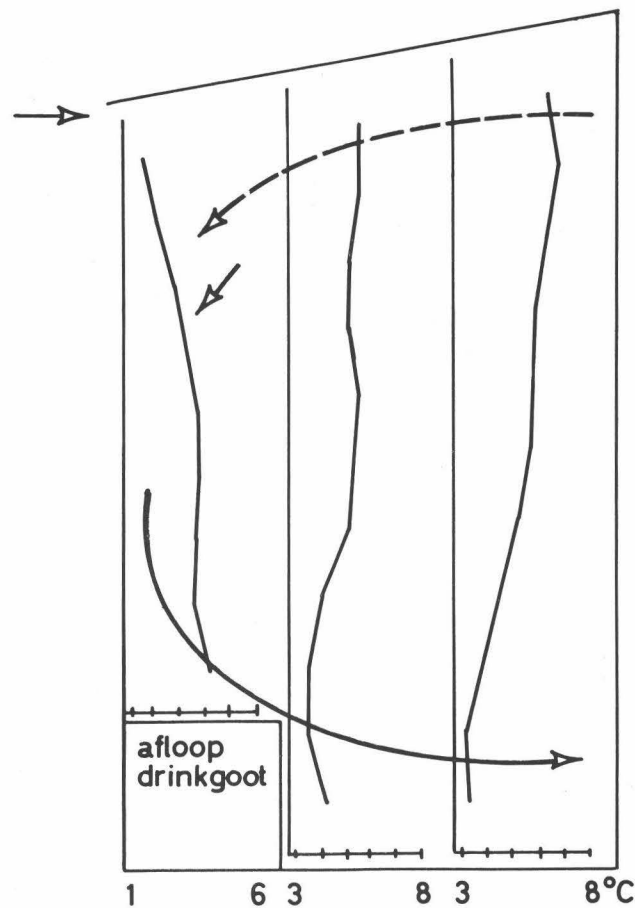
Wij moeten echter ook opmerken dat de ventilatieperiodes meestal niet zo langdurig zijn als bij deze metingen; de thermostatische sturing zorgt tijdig voor de onderbreking, zodat de in de praktijk bereikte temperaturen wel enigszins hoger zullen blijven.

De derde opname (fig. 63 en 64) stemt overeen met 100% ventilatie.



Isothermen en ventilatiepatroon
in hok N/2 (100 % ventilatie)

figuur 63



Temperatuurprofielen en ventilatiepatroon
in hok N/2 (100 % ventilatie)
figuur 64

Slechts 3 profielen konden worden opgemeten wegens de snelle temperatuurdaling in het hok. Toch laat de analyse van deze cijfers even duidelijk hetzelfde ventilatiepatroon veronderstellen.

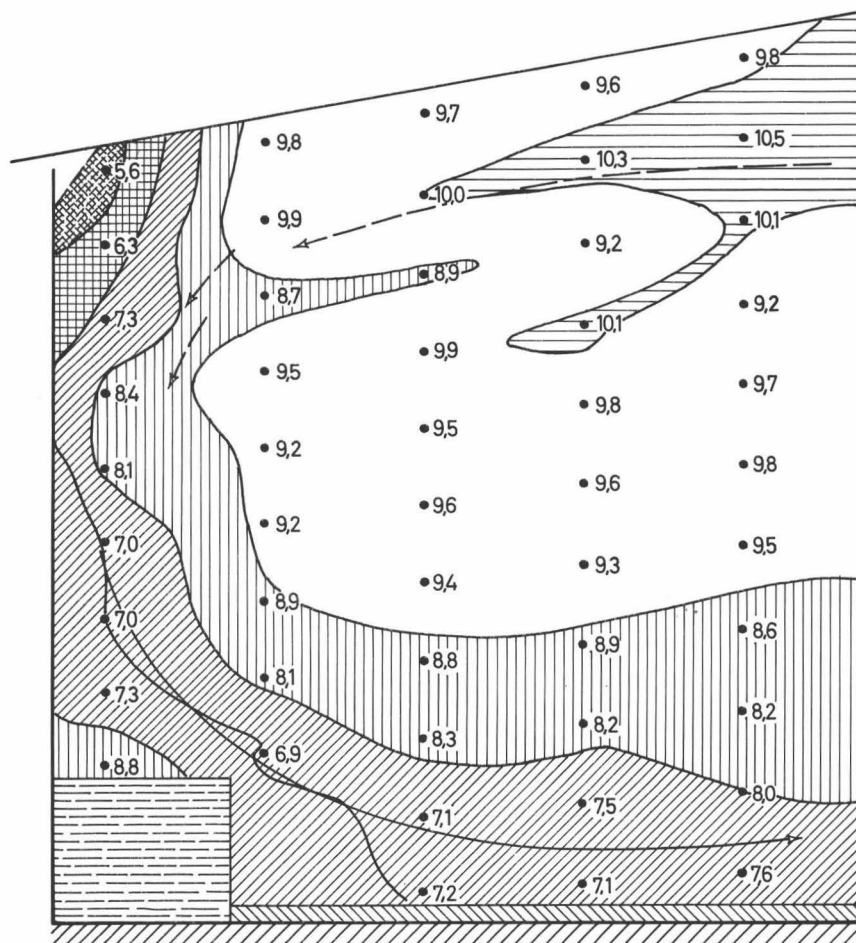
Hieruit blijkt dat het ventilatiepatroon nu onafhankelijk is van het ventilatiedebiet. Ook de winddruk zal dus geen invloed meer uitoefenen op het ventilatiepatroon.

Hok N/4 : stal met vensters overigens = hok N/2 (fig. 65, 66, 67 en 68)

- Opname 1 en 2

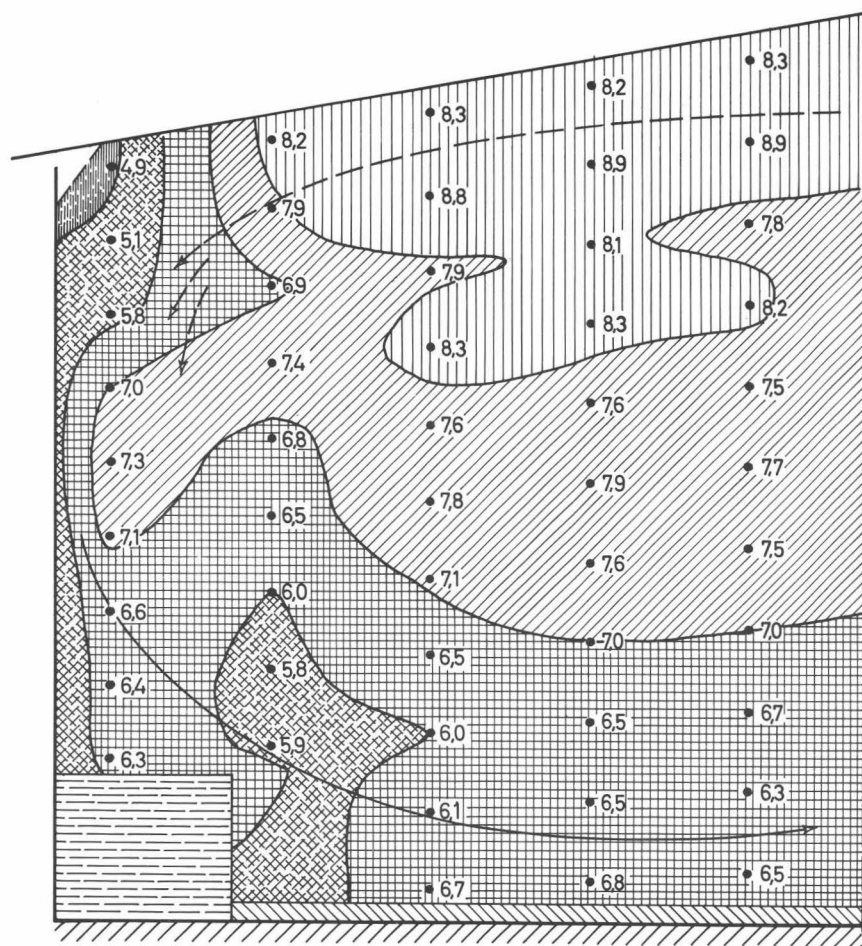
De buitentemperatuur op het ogenblik van de opname was 3°C.

De ventilatiehoeveelheid was geregeld op 30 % van het maximale debiet voor de waarnemingen voorgesteld op figuren 65 en 66 op 60 % voor de metingen vermeld in figuren 67 en 68.



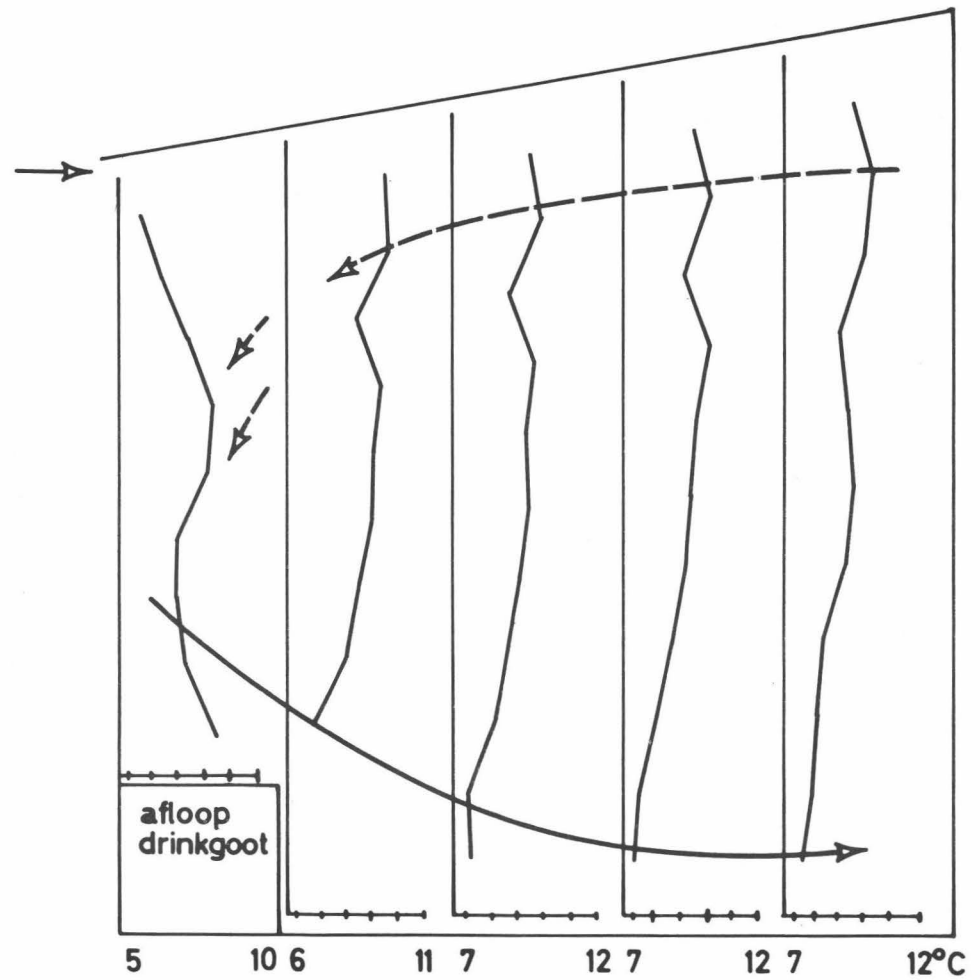
Isothermen en ventilatiepatroon
in hok N/4 (30 % ventilatie)

figuur 65



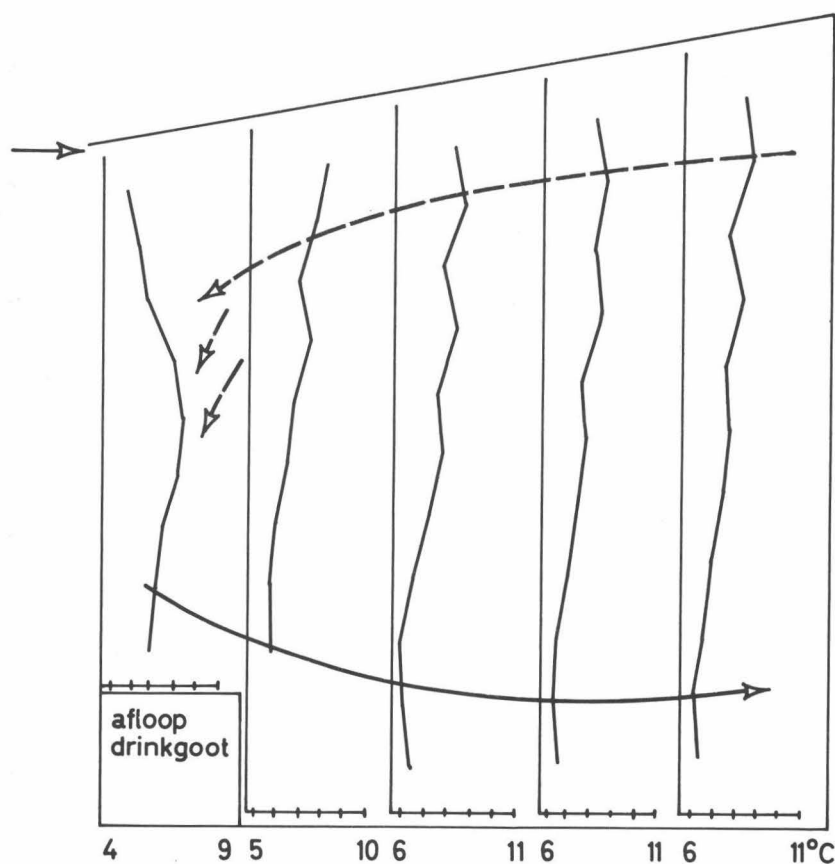
Isothermen en ventilatiepatroon
in hok N/4 (60 % ventilatie)

figuur 67



Temperatuurprofielen en ventilatiepatroon
in hok N/4 (30 % ventilatie)

figuur 66



Temperatuurprofielen en ventilatiepatroon
in hok N/4 (60 % ventilatie)
figuur 68

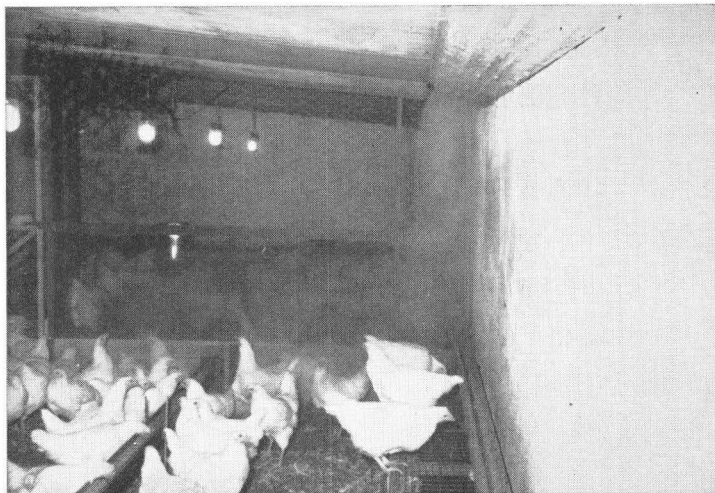
Alhoewel de isothermen een grilliger beeld vertonen, zijn zij toch nagenoeg gelijkvormig aan deze bekomen in de vensterloze stal en laten zij een volkomen gelijkaardig ventilatiepatroon veronderstellen.

Er mag dus worden aangenomen dat de vensters geen belangrijke invloed hebben op het ventilatiepatroon in dit hok.

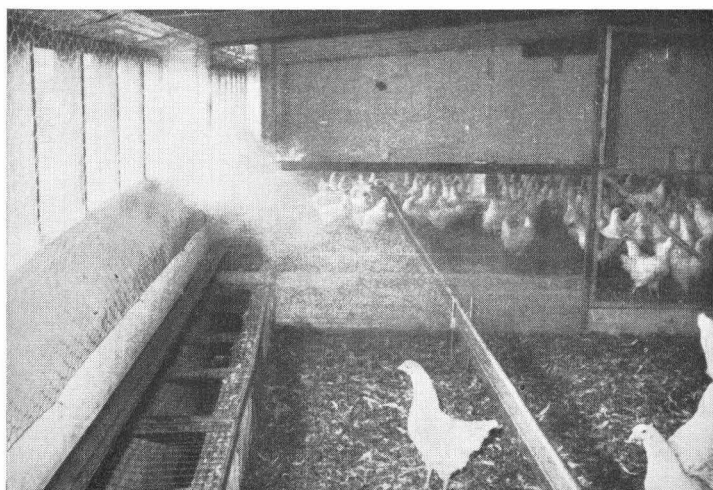
Door kleinere warmteverliezen langs de wanden in een vensterloze stal is evenwel een belangrijker ventilatie mogelijk dan in een hok met vensters.

3.2.3.4. Controle en bevestiging van het gevonden ventilatiepatroon door middel van rooktesten

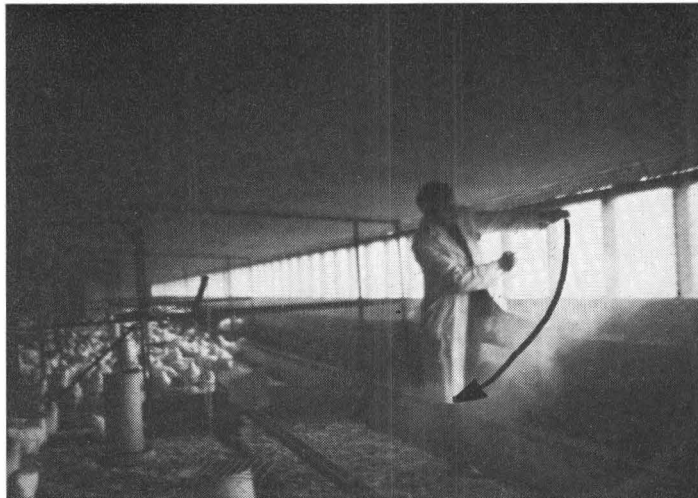
De figuren 69 tot 72 illustreren opnamen van de hoofdluchtstroming in practijkhokken.



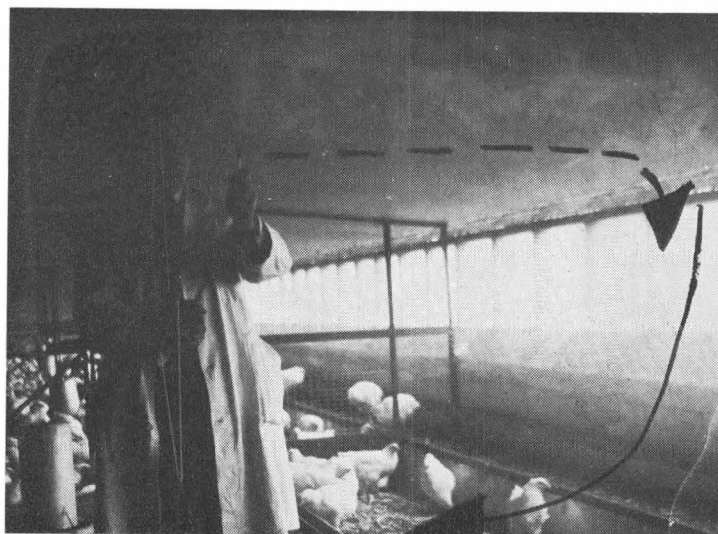
Gerichte hoofdluchtstroom zichtbaar gemaakt met rook
figuur 69



Gerichte hoofdluchtstroom zichtbaar gemaakt met rook (hok met vensters)
figuur 70



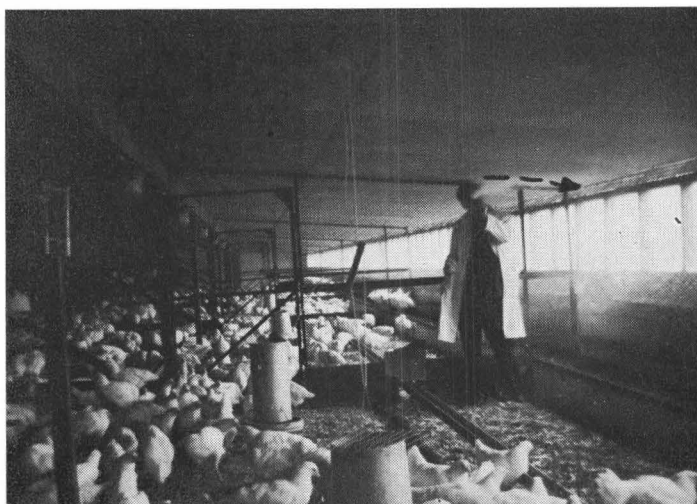
**Gerichte hoofdluchtstroom zichtbaar gemaakt met rook
figuur 71**



**Nevenluchtstroom (stippellijn) zichtbaar gemaakt met rook
figuur 74**



Gerichte hoofdluchtstroom zichtbaar gemaakt met rook
figuur 72



Nevenluchtstroom (stippellijn) zichtbaar gemaakt met rook
figuur 73

De figuren 73 en 74 tonen hoe de nevenluchtstroom zich langs het dakbeschoot beweegt van het midden van het hok naar de inlaat toe, waar de inductie plaatsgrijpt. De primaire luchtstraal komt nu volledig in de verblijfszone van de dieren, aangevuld met bijgemengde stallucht. De resultaten bevestigen het vroeger bepaalde ventilatiepatroon.

3.2.3.5. Besluiten

De vergelijkende studie van vorige uitslagen bewijst dat het ventilatiepatroon voor verschillende ventilatiehoeveelheden identisch blijft. Dit feit is zeer belangrijk, gezien daardoor een luchtverversing verzekerd is onafhankelijk van de buitenomstandigheden.

Het ventilatiepatroon blijkt zelfs niet meer afhankelijk van de windinvloed. Mede om elke daglichtintrede in het hok uit te sluiten is het toch raadzaam een winscherm voor de inlaat van de vensterloze stal aan te brengen. Hierdoor wordt ook het verschil in ventilatiehoeveelheid aan wind- en lijzijde beperkt. In de hokken met vensters is dit nochtans praktisch moeilijk te verwezenlijken, omdat meestal een deel van het vensteroppervlak zou bedekt worden.

Bij een aldus gerichte luchtstroming is een bijverwarming bij de aanvang van de hoofdluchtstroom evenwel raadzaam om lage temperaturen en te sterke temperatuurschommelingen nabij de dieren te vermijden. De aanvulling van het warmtetekort in de hokken wordt dan ook best nabij de zijwand in de hoofdluchtstroom voorzien. In elk geval zou de ventilatie trapvormig of traploos moeten kunnen geregeld worden.

De studie van de luchtstroom door waarnemingen over L.S. is hier onmogelijk gebleken, wegens de lage waarden die zeer moeilijk nauwkeurig te meten zijn.

De rooktesten bevestigen duidelijk de hoofdluchtstroom in de verblijfszone en de nevenluchtstroom langs het dakbeschoot.

Uit het geheel van deze waarnemingen volgt dat het vooropgestelde doel hier wordt bereikt :

- een verse luchtstroom gericht naar de oponthoudszone
- de luchtstroom is over deze korte afgelegde weg zodanig voorbereid, dat de eigenschappen volledig stroken met de eisen voor het dierlijk comfort (t, L.S., scheikundige samenstelling van de lucht : fig. 17)

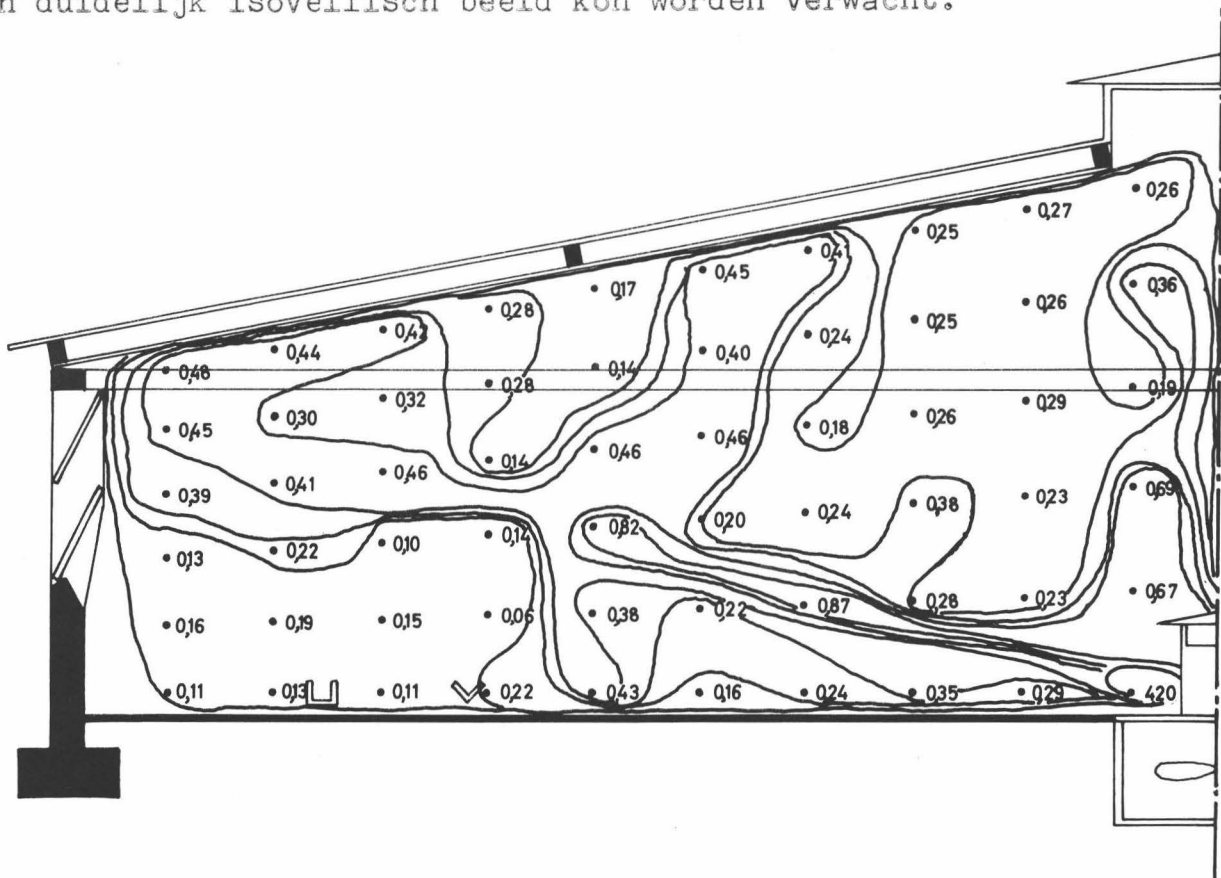
Ook hier geeft de onder 3.2.1. vooropgestelde methodiek een mogelijkheid voor het vaststellen en verklaren van de optredende ventilatieluchtstromingen.

3.2.4. Richten van de luchtstroom door overdrukventilatie

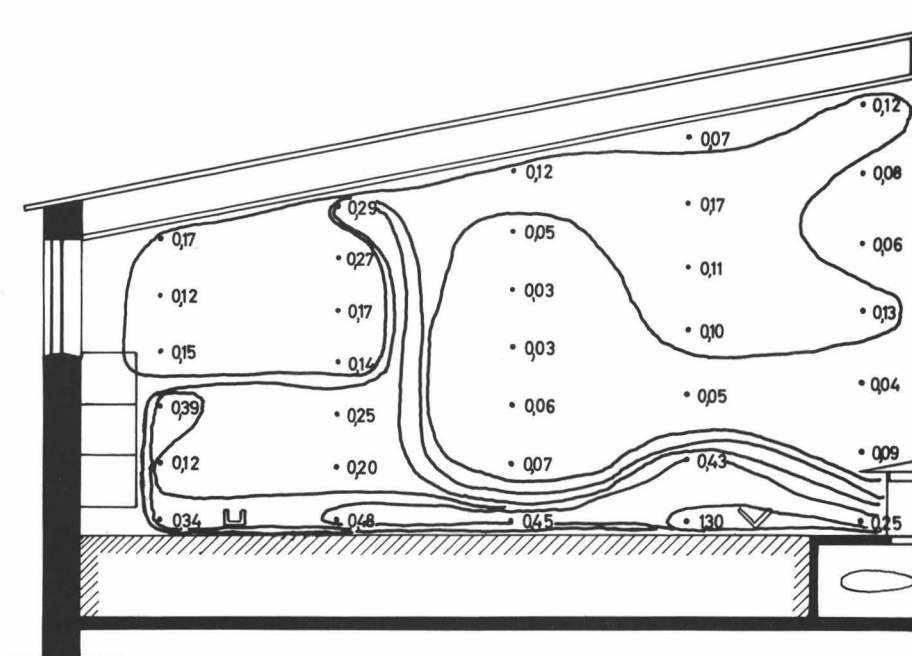
Enkele van de bestudeerde hokken waren voorzien van een ventilatietunnel onder de vloer. Langs kleine pijpjes op dit kanaal, wordt de ventilatielucht in het hok geblazen. De luchtafvoer geschiedt door de open nok gelegen boven het ventilatiekanaal als gevolg van de verwekte overdruk.

Boven de ventilatiepijpjes wordt een kapje aangebracht waardoor de lucht theoretisch over het strooisel en de dieren naar de zijwanden toestroomt, verder langs de zijwanden naar het dak uitwijkt om uiteindelijk opgenomen te worden in de zone waar de luchtafvoer geschiedt.

Voor de determinatie van het ventilatiepatroon werd hier gebruik gemaakt van de isovellenmethode, omdat wegens de optredende hoge L.S. nu een duidelijk isovellisch beeld kon worden verwacht.



Isovellen en ventilatiepatroon in
hok met overdrukventilatiesysteem (hok SML)



Isovellen en ventilatiepatroon in hok
met overdrukventilatiesysteem (hok W/2)

figuur 76

Figuren 75 en 76 illustreren de isovellen waaruit duidelijk de optredende luchtstromingen kunnen worden afgeleid. De voornaamste bezwaren die tegen deze ventilatiemethode zijn gerezen luiden :

1. hoge luchtsnelheden in de verblijfszone van de dieren; het aantal pijpjes zou zeer groot moeten zijn, om voldoende lucht te kunnen aanvoeren zonder tochtgevaar;
2. kostelijke inrichting.

Anderzijds biedt deze methode de voordelen dat vrij eenvoudig 's zomers gekoelde lucht kan binnengeblazen worden en 's winters verwarmde lucht.

Weinig andere ventilatiesystemen verschaffen terzelfdertijde de mogelijkheid om een gerichte luchtstroom met, naargelang de noodzaak, gekoelde of verwarmde lucht doorheen het hok te voeren.

Een verdere studie van dergelijke methodes zal in de toekomst wellicht nog meer aandacht verdienen.

3.2.5. De gelijkmatige afzuiging van de stallucht

De puntsgewijze afzuiging van de stallucht heeft doorgaans slechts geringe invloed op de gelijkmatigheid van de aanvoer door de luchtinlaatopeningen.

De ongelijkmatigheid in luchtaanvoer wordt echter in de hand gewerkt, zowel door de afstand tussen de ventilatoren als door de afmetingen van de inlaatopeningen zelf. De sectie van de inlaatopeningen bepaalt namelijk de intredesnelheid, als gevolg van de onderdruk in het hok. Hoe belangrijker de snelheid, gevolg van een aanzienlijker onderdruk, des te geringer de optredende verschillen.

Bij een afstand van 10 m tussen de ventilatoren werd ongeveer 15 % meer lucht aangevoerd door de inlaat ter hoogte van de ventilatoren, dan voor een punt verst van een ventilator gelegen. De gemiddelde inlaatsnelheid bedroeg bij deze meting 3,25 m/sec, de uitersten respectievelijk 3,00 en 3,50 m/sec. De hoogte van de inlaat was 4 cm.

De luchtafvoer nochtans kan bij puntsgewijze afzuiging ongelijkmatig zijn, gezien de vorm van het aanzuigspectrum van de ventilatoren (fig. 20). Dit geeft aanleiding tot zogenaamde dode zones in het midden van het hok waar weinig of geen luchtverversing optreedt.

Om dit nadeel uit te schakelen en tevens het geringste verschil in aanvoer van verse lucht bij de inlaat te voorkomen, kan men gebruik maken van een ventilatiekanaal. Daarom werd een onderzoek doorgevoerd naar het effect van een afzuigventilatiekanaal over de ganse lengte van het hok onder de ventilatoren.

Om economische redenen moet de kostprijs van deze inrichting zo laag mogelijk worden gehouden. Een eenvoudig kanaal met rechthoekige doorsnede en bestaande uit lichte cellulose-asbestplaten lijkt in dat verband een goede oplossing.

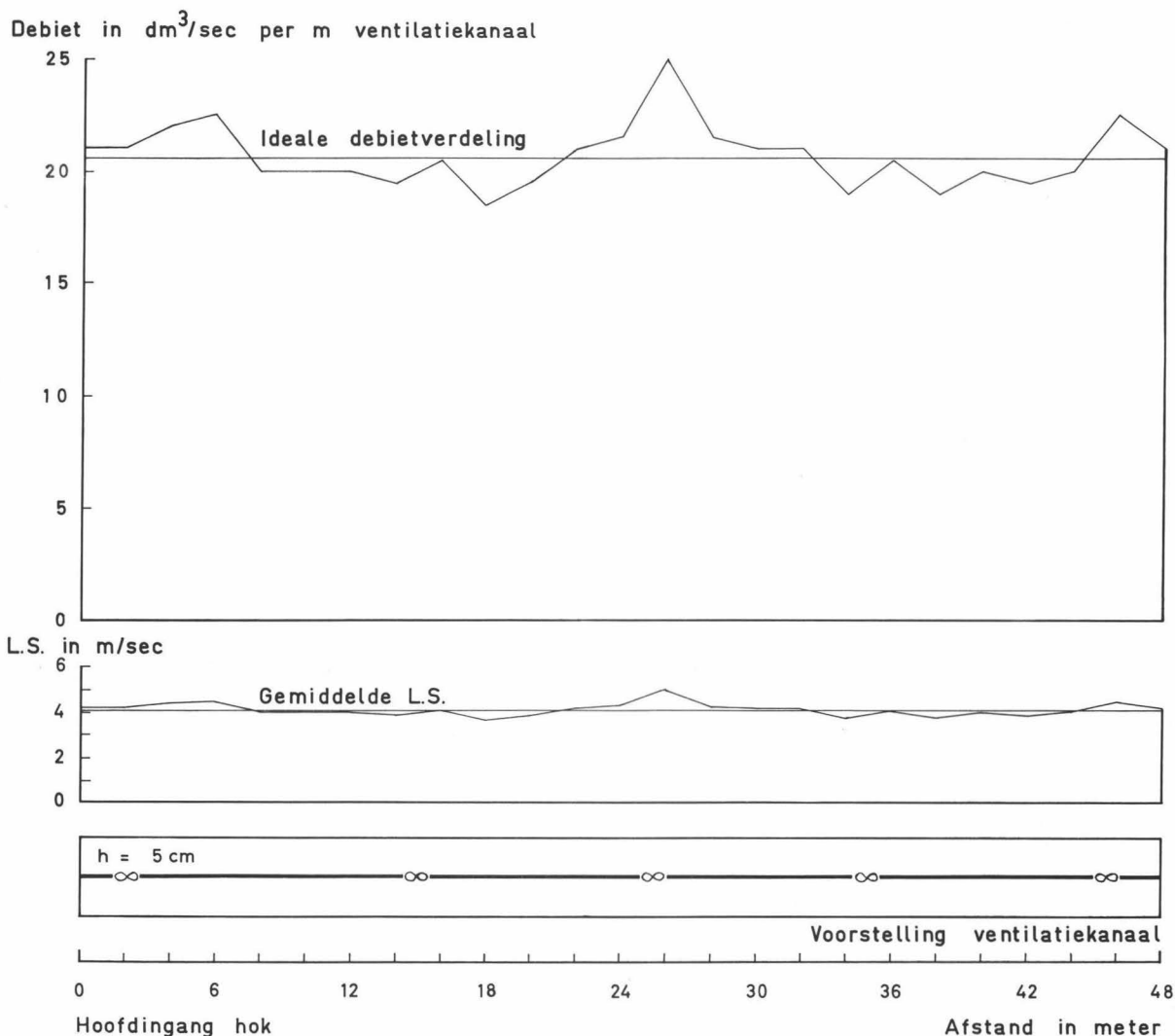
Zowel de vorm van de aanzuigopening in het kanaal, als de verhouding f/F zijn van overwegend belang voor een gelijkmatige luchtafzuiging (RECKNAGEL, LAAKSO).

Bij $f/F \leq 0,5$ mag de opening uitgevoerd worden als gleuf met constante breedte. Voor waarden aanzienlijk groter dan 0,5 moet de gleufbreedte kleiner zijn nabij de ventilator en geleidelijk toenemen, naarmate de afstand tot de ventilator groter wordt (fig. 21).

De breedte en hoogte van de onderzochte kanalen zijn respectievelijk 120 en 45 cm. De doorsnede heeft derhalve een oppervlakte (F) van 5.400 cm^2 . Bij een onderlinge afstand tussen de ventilatoren van 10 m, en een gleufbreedte van 5 cm, is $f = \frac{1000 \times 5}{2} = 2.500 \text{ cm}^2$

De verhouding $\frac{f}{F} = \frac{2.500}{5.400} = 0,46$

De metingen van luchtsnelheid en het berekende debiet voor verschillende punten van het kanaal, worden in figuur 77 voorgesteld. Op de figuur werd ook aangeduid wat de ideale toestand van L.S. en debiet zou zijn, bij een volledig uniforme luchtafvoer.



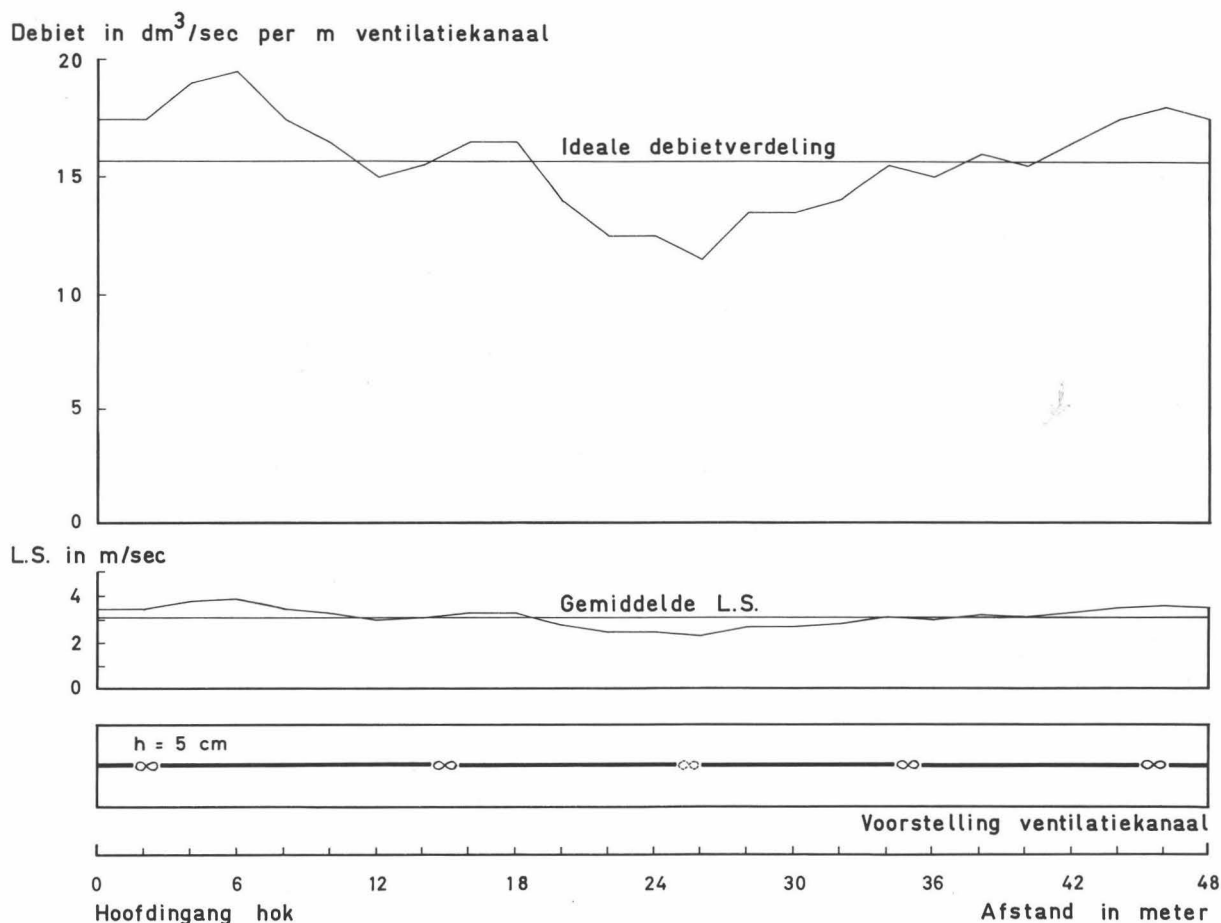
Luchtsnelheid en debiet in de gleuf van een ventilatiekanaal (gleufbreedte 5 cm; 100 % ventilatie)

figuur 77

Zoals uit de resultaten blijkt, zijn de afwijkingen van deze ideale toestand betrekkelijk gering en niet van aard om het welslagen van de klimaatregeling in het gedrang te brengen.

In de onderzochte N-hokken, waar dit systeem is toegepast, wordt de ventilatie door 3 thermostaten geregeld. Bij het uitschakelen van bepaalde ventilatoren, wordt door het vergroten van de afstand tussen de werkende ventilatoren, de verhouding f/F aanzienlijk gewijzigd en logischerwijze zal ook de luchtafzuiging onregelmatiger worden.

De waarnemingen na uitschakelen van de middenste ventilator in het hok worden voorgesteld in figuur 78.



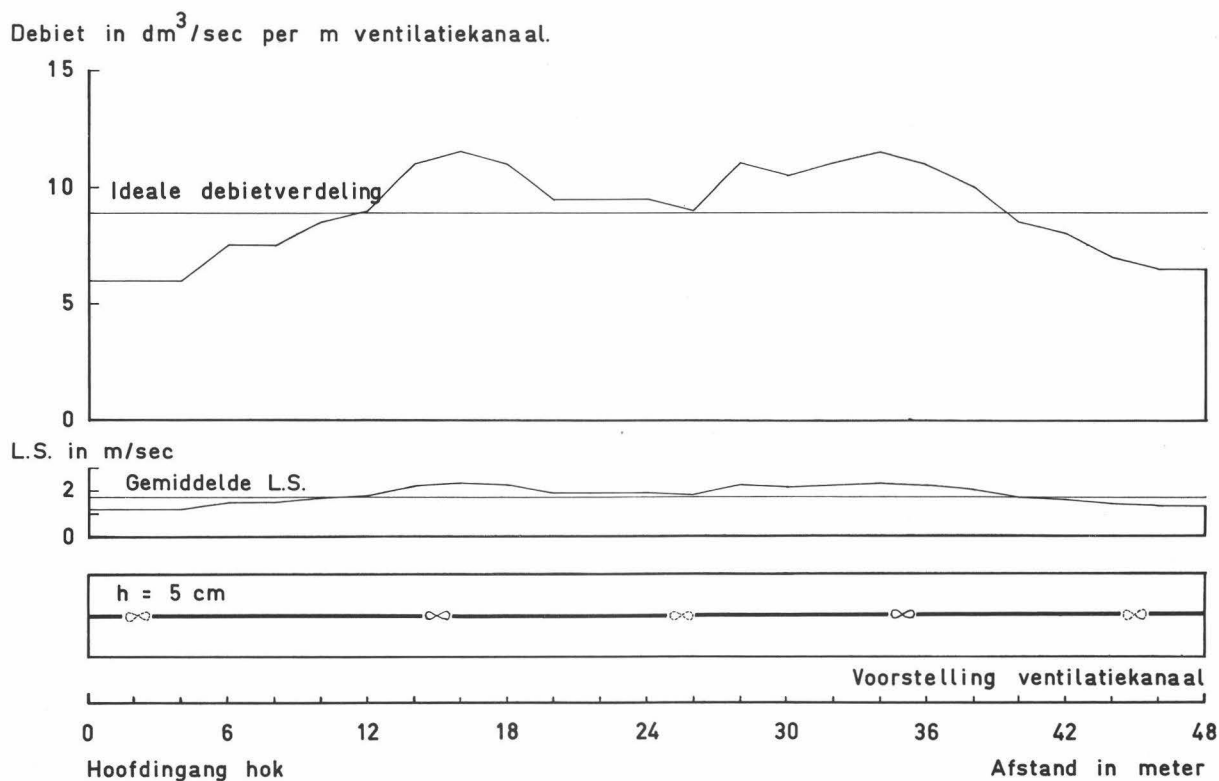
Luchtsnelheid en debiet in de gleuf van een ventilatiekanaal (gleufbreedte 5 cm; 60 % ventilatie)

figuur 78

De f/F -waarde wordt daardoor 0,92 in het gebied vanaf 15 tot 35 m van de hoofdingang.

De verschillen t.o.v. de ideale toestand zijn belangrijker geworden.

De waarnemingen na uitschakelen van de ventilatoren 1, 3 en 5 worden in figuur 79 weergegeven. De f/F -waarde bedraagt dan over de gehele lengte van het kanaal ongeveer 1.



Luchtsnelheid en debiet in de gleuf van een ventilatiekanaal (gleufbreedte 5 cm; 30 % ventilatie)

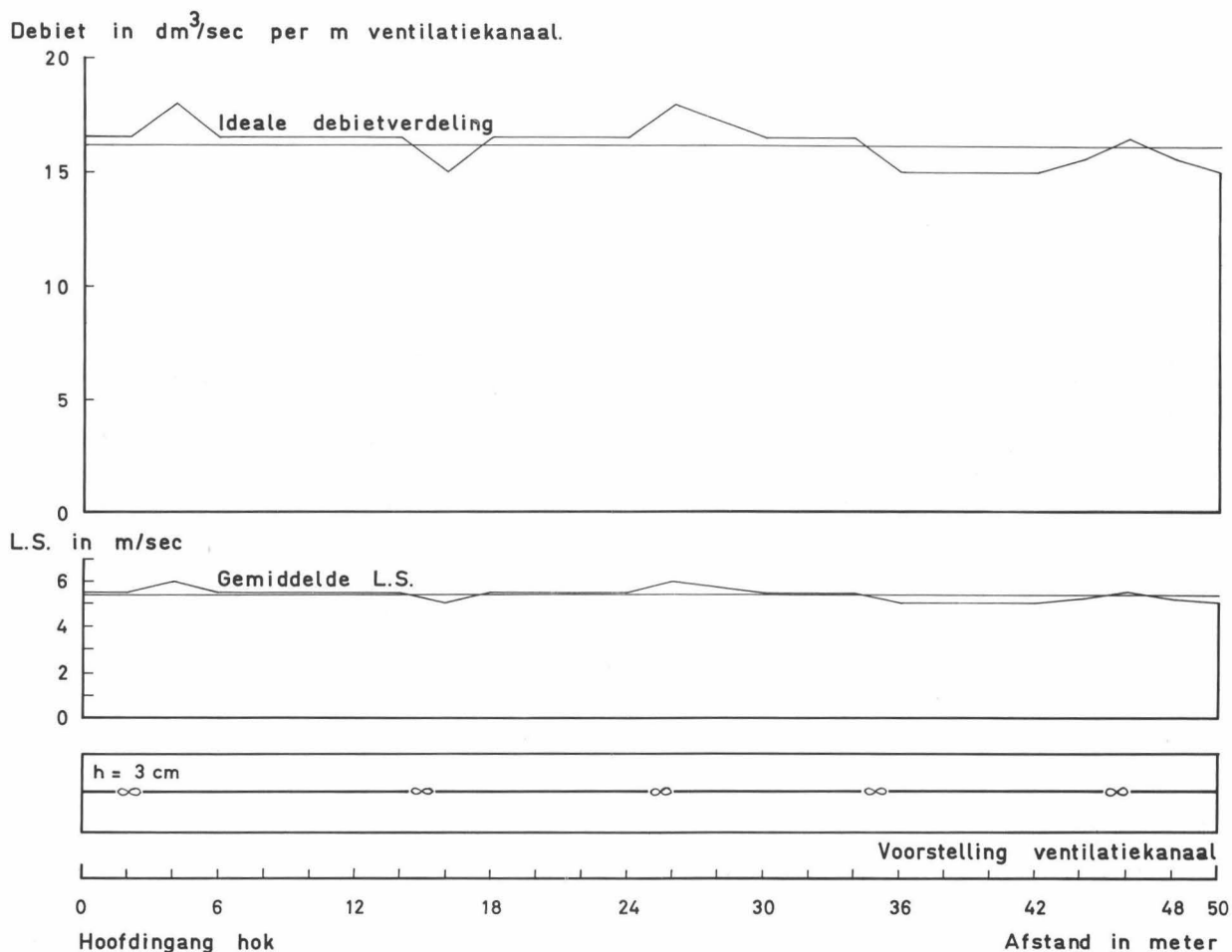
figuur 79

Er blijft een duidelijke luchtafvoer bestaan in elk punt van het kanaal. Het doel, de dode zones uit te schakelen, is dus in ieder geval bereikt. In de meest nadelige toestand zijn er nochtans verschillen van ongeveer 30 % in luchtafvoer t.o.v. de ideale toestand.

Economisch is het niet te verwezenlijken de gleufbreedte in het kanaal aan deze steeds wijzigende werking van de ventilatoren aan te passen. Daarom werd getracht door een terugbrengen van de gleufbreedte van 5 tot 3 cm, voor eenzelfde kanaalsectie, een betere f/F -verhouding te bekomen en aldus ook een gelijkmatiger afzuiging.

De respectievelijke f/F -waarden van de boven besproken waarnemingen worden aldus met ongeveer $2/5$ kleiner (respectievelijk 0,28 en 0,55).

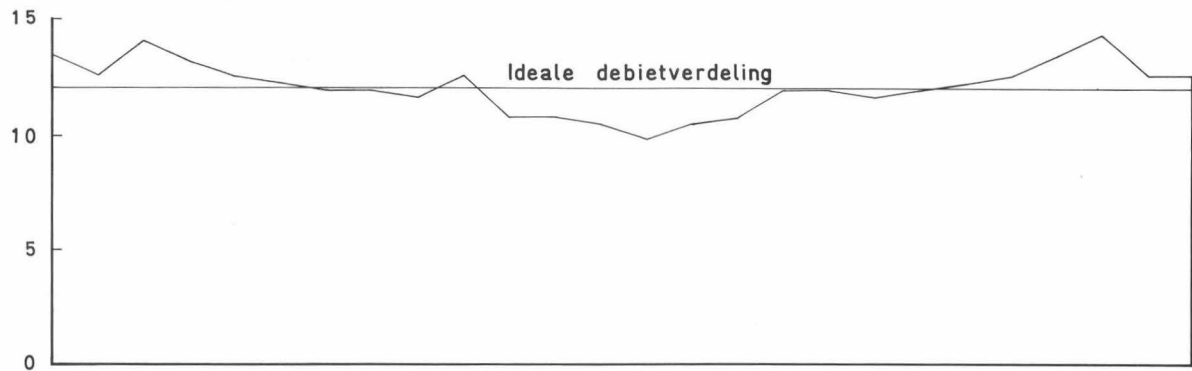
De resultaten worden in figuren 80, 81 en 82 opgenomen.



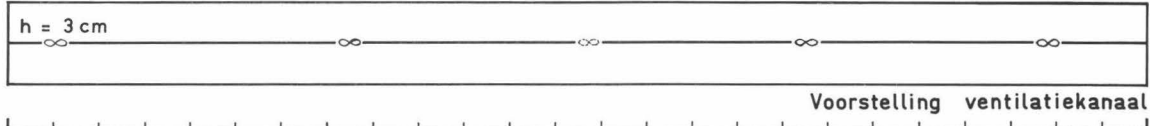
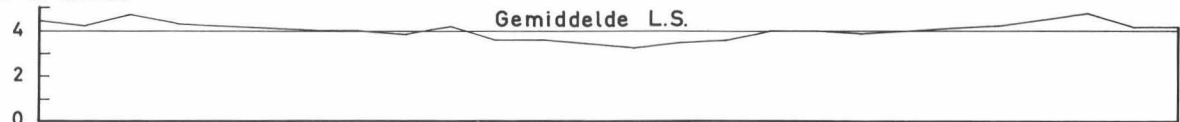
Luchtsnelheid en debiet in de gleuf van een ventilatiekanaal (gleufbreedte 3 cm; 100 % ventilatie)

figuur 80

Debiet in dm^3/sec per m ventilatiekanaal.



L.S. in m/sec

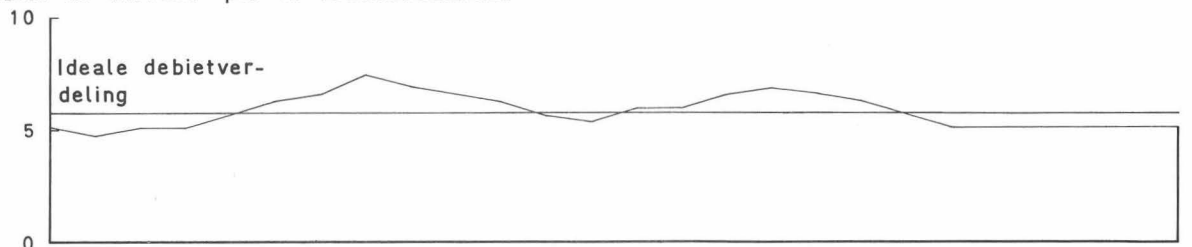


0 6 12 18 24 30 36 42 48 50
Hoofdingang hok Afstand in meter

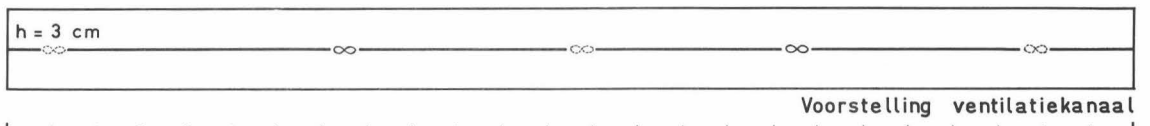
Luchtsnelheid en debiet in de gleuf van een ventilatie-
kanaal (gleufbreedte 3 cm; 60 % ventilatie)

figuur 81

Debiet in dm^3/sec per m ventilatiekanaal.



L.S. in m/sec



0 6 12 18 24 30 36 42 48 50
Hoofdingang hok Afstand in meter

Luchtsnelheid en debiet in de gleuf van een ventilatie-
kanaal (gleufbreedte 3 cm; 30 % ventilatie)

figuur 82

Voor elk van de drie mogelijke trappen van ventilatie, is de gelijkmatigheid in luchtafzuiging in de verschillende punten aanzienlijk verbeterd. Zelfs een afstand tussen de ventilatoren van 20 m, schaadt nu nog zeer weinig de uniformiteit van luchtafzuiging.

Wanneer echter de uitslagen (fig. 77 tot 79 enerzijds en 80 tot 82 anderzijds) onderling vergeleken worden, dan blijkt de gemiddelde L.S. hoger bij de 3 cm-gleuf, dan bij de 5 cm-gleuf, terwijl de afgevoerde luchthoeveelheid in het eerste geval ongeveer 25 % kleiner geworden is ten gevolge van belangrijker rendementsverlies van de ventilatoren.

Het lijkt ons dan ook niet wenselijk, ten koste van een niet onaanzienlijke rendementsverlaging, een nog gelijkmatiger afzuiging na te streven dan deze bekomen met de gleuf van 5 cm breedte ($f/F = 0,5 - 1$).

In figuur 83 wordt een voorbeeld gebracht, hoe door gleufbreedtevariatie, de ventilatiehoeveelheid in de verschillende punten kan worden beïnvloed.

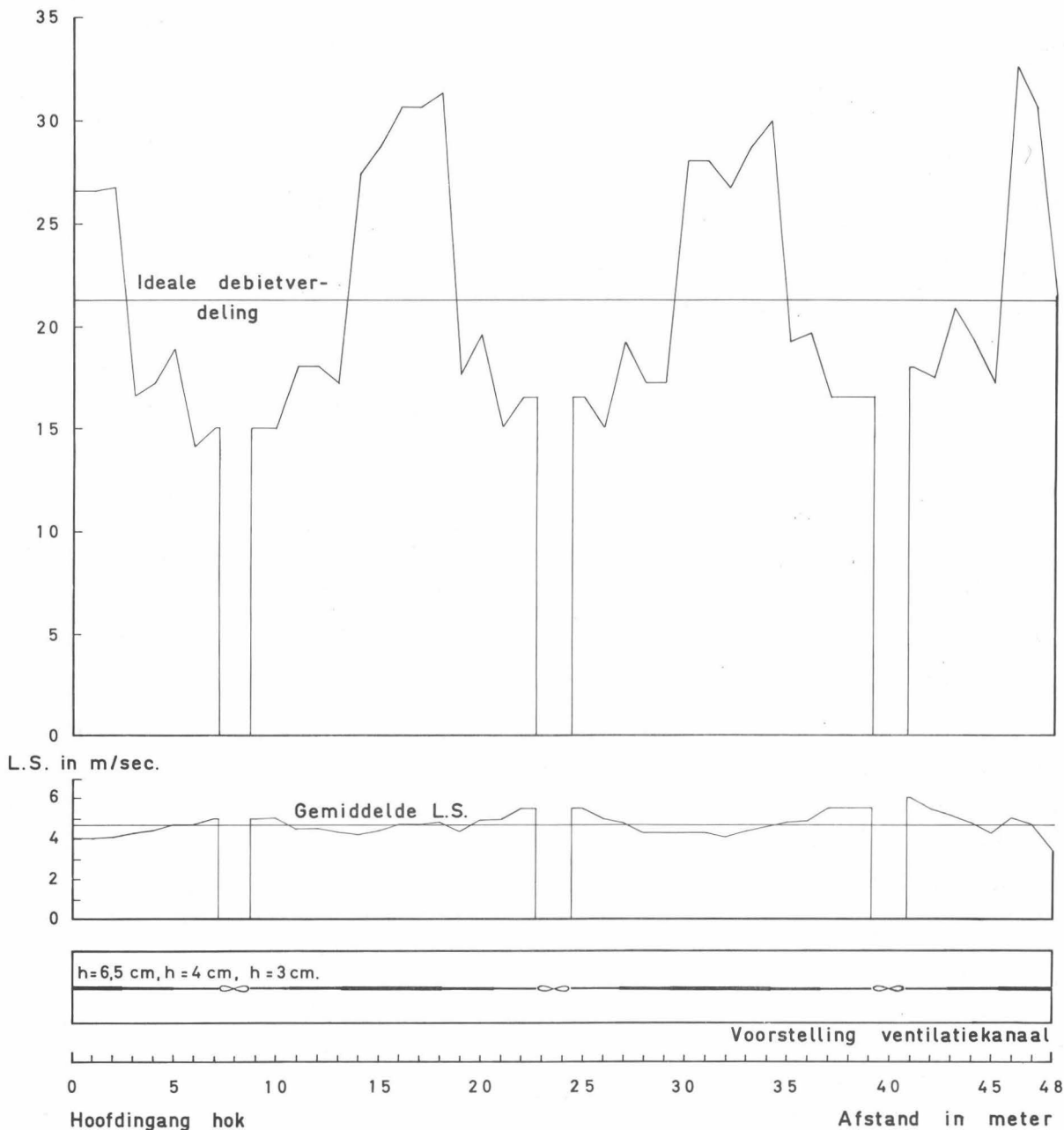
In het betreffende hok was deze keuze van gleufbreedte echter zeer ondoelmatig, zodat nabij de ventilator een geringere afzuiging plaatsgreep dan voor een grotere afstand tot de ventilator.

Het experiment bewijst nochtans dat het inderdaad mogelijk is een hogere ventilatiegraad nabij de ventilatoren te voorkomen, zelfs niet-tegenstaande de afstand tussen de ventilatoren 16 m bedraagt.

De meest doeltreffende oplossing voor de uniformiteit van de ventilatie, is dus ongetwijfeld het afzuigen langs een ventilatiekanaal. Kan daarenboven het ventilatiedebiet door regeling van het toerental van de motor aan de behoefte van elk ogenblik worden aangepast, dan blijft de f/F -waarde constant, en zal de luchtevacuatie ook bij winter-ventilatie voldoende gelijkmatig geschieden.

Bij het aanwenden van een kanaal met gleufvormige opening, is het aanzuigspectrum samengesteld uit coaxiale halve cylindermantels. Elk van deze halve cylindermantels is de meetkundige plaats van alle punten met eenzelfde luchtsnelheid. De as van de cylinder valt samen met de gleuflaats van het kanaal.

Debiet in dm^3/sec per m ventilatiekanaal.



Luchtsnelheid en debiet in een
ventilatiekanaal met variërende gleufbreedte
figuur 83

Het is duidelijk dat de afzuiging aldus heel wat efficiënter wordt, dan in het geval van de half-bolvormige aanzuigspectra van ventilatoren zonder afzuigkanaal.

Besluiten :

het aanzuigspectrum van een ventilator heeft de vorm van een halve bol; wanneer de afstand tussen de ventilatoren te groot gekozen wordt, ontstaan tussen de ventilatoren dode zones. Ook de luchtaanvoer kan onregelmatig worden bij een te grote afstand tussen de afzuigopeningen, bijzonderlijk bij lage intredesnelheid van de verse lucht. De wenselijke afstand tussen de ventilatoren hangt af van hun karakteristieken en werd gelijkgesteld aan 2 x de straal van het half-bolvormig vlak met $L.S. = 1 \text{ cm/sec (3.1.2.)}$

Het gebruik van een ventilatiekanaal met gepaste karakteristieken in aansluiting met de ventilatoren, schakelt het probleem van de dode zones en ongelijkmatige luchtaanvoer grotendeels uit.

Om elk verschil in luchtaanvoer en -afvoer te elimineren, dient f/F van het ventilatiekanaal $\leq 0,5$. Is genoemde verhouding aanzienlijk groter, dan dient de gleufbreedte in het kanaal aangepast aan de afstand tot de ventilator (fig. 21).

Het aanzuigspectrum bij een ventilatiekanaal heeft de vorm van een halve cylinder.

3.2.6. Studie van het evaporatiepatroon in de verblijfszone van de dieren, als functie van ventilatie en eventuele bijverwarming

Een belangrijk aspect van de winterklimaatregeling in hokken is ook het drooghouden van het bodemstrooisel. Het is duidelijk dat daarin een rol wordt gespeeld door de R.V. van de lucht, de snelheid van de luchtverplaatsing, de luchttemperatuur, de straling van de dieren e.a.

Het zou nuttig zijn het effect van al deze invloedsfactoren samen te kunnen meten, en het resultaat ervan uit te drukken in functie van de klimaatregeling in het algemeen en van de ventilatie in het bijzonder.

Daarom werd naar een geschikte methode gezocht, die mogelijks op verschillende plaatsen in één hok en in meerdere hokken tegelijkertijd een nauwkeurig beeld zou verstrekken van de evaporatiemogelijkheid.

De Piche-evaporimeter, gebruikt in de meteorologie, leek ons het best te beantwoorden aan de bijzondere voorwaarden door dit onderzoek gesteld.

Het filtreerstrookje van de Piche-evaporimeter wordt vochtig gehouden door gedistilleerd water; de maat waarin de voorraad vermindert, geeft een nauwkeurige aanwijzing over de mogelijke evaporatie in een bepaald punt.

Om de reproduceerbaarheid van de resultaten te testen, werd een aantal van deze Piche-meters op een klein oppervlak opgesteld bij identische omstandigheden. De onderlinge afwijkingen zijn van de grootte orde van 1 %.

Voor de waarnemingsperiode werden, in elk van de 7 onderzochte hokken, 8 Piche-meters opgesteld vanaf einde november tot aanvang maart 1965.

Een horizontale draad werd in de dwarsrichting van de hokken gespannen op ongeveer 40 cm van de stalvloer. De verdampingsmeters werden op onderling gelijke afstand aan deze meetlijn opgehangen.

Met zorg werd eenzelfde relatieve plaatsing t.o.v. de ventilatoren in de verschillende hokken nagestreefd.

Om bij de waarnemingen schade of storingen door de dieren te voorkomen, werd rond de meetlijn in de verblijfszone een gebied afgebakend door middel van kippendraad met grove mazen.

De buisjes werden minstens éénmaal per week aangevuld en afgelezen.

De voor de verschillende meetpunten van een hok gevonden waarden werden in een assenstelsel opgetekend: de verdampingshoeveelheden op y-as, de afstand van meetpunt tot zijwand op de x-as (volgnummer verdampingsmeter: punt 1 dichtst bij de zijwand gelegen, punt 8 in het midden van het hok ter hoogte van de uitlaat).

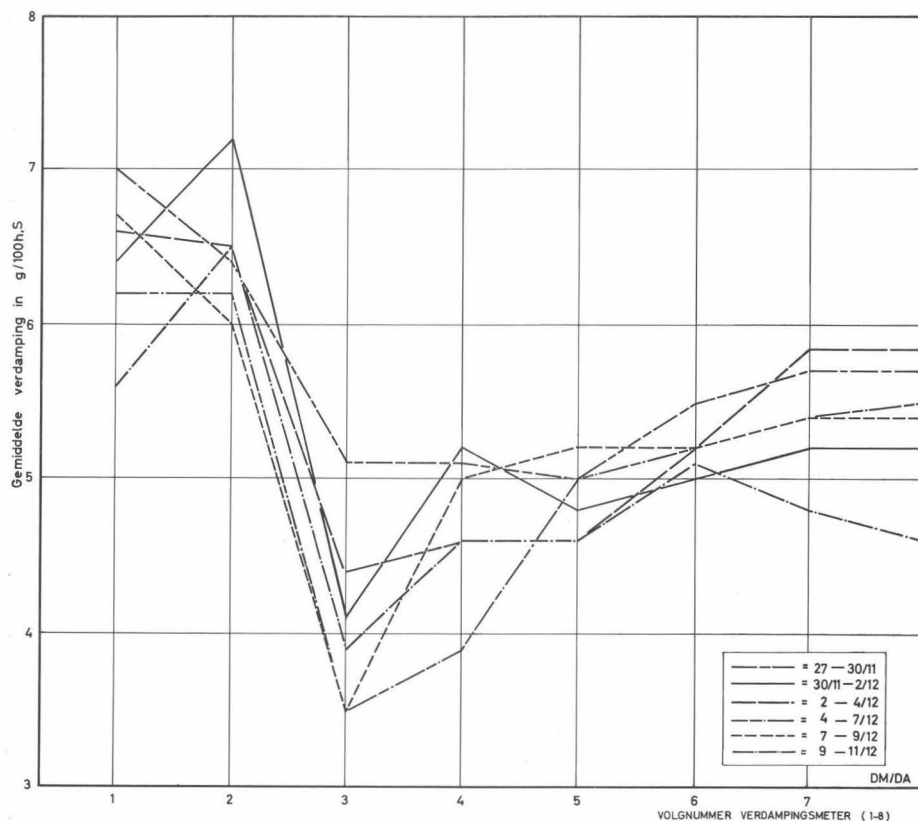
De verschillende punten in de figuur uitgezet, worden dan verbonden door rechte lijnstukken; de gebroken lijn die daaruit resulteert, zal hierna het evaporatiepatroon van de ventilatieinrichting worden genoemd.

De studie van dit evaporatiepatroon zal ons inlichtingen verschaffen over de afvoermogelijkheid van water in de verschillende punten van een hokdoorsnede. Gelijkzeitig kan dit patroon een aanvulling en bevestiging betekenen van het vroeger bestudeerde ventilatiepatroon (effect van L.S.) en het verschaft bovendien een indruk over de graad van de

luchtverversing in de verschillende zones. Belangrijk is dat op deze plaatsen de grootste verdamping optreedt, waar de bevochtiging en stalverontreiniging het aanzienlijkst is en waar de dieren een belangrijk deel van hun tijd doorbrengen (in de nabijheid van drinkgoot en voederinstallatie). Het doel van dit onderzoek is in de eerste plaats na te gaan of aan deze voorwaarden kan worden voldaan.

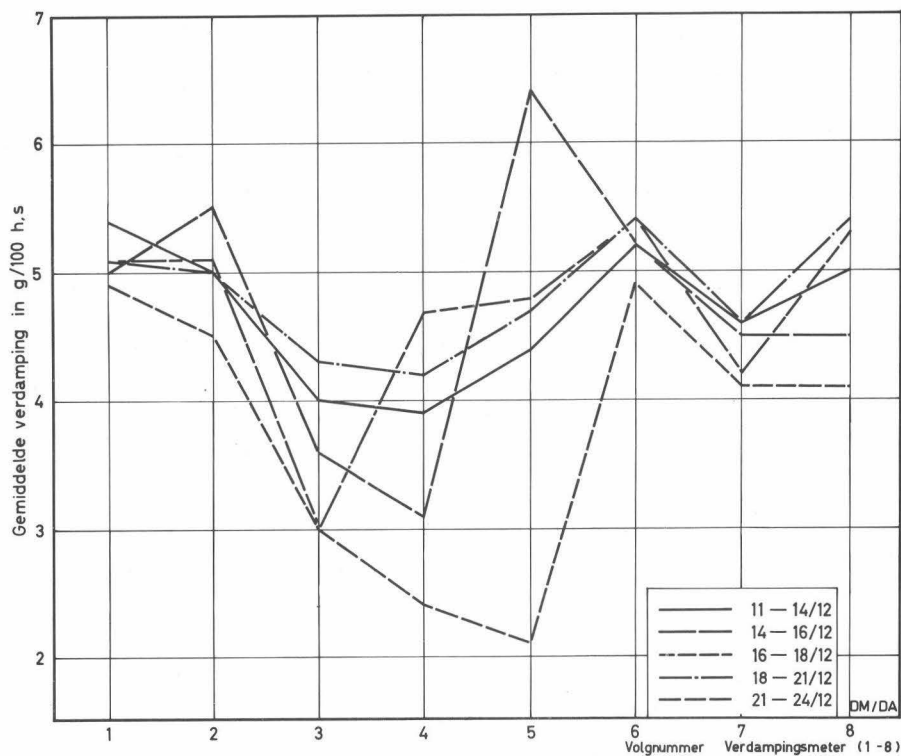
3.2.6.1. Waarnemingen en interpretatie

De vorm van het evaporatiepatroon wordt in belangrijke mate beïnvloed door de ventilatieinrichting. Dit kan gemakkelijk worden bewezen door opnamen in éénzelfde hok voor verschillende periodes onderling te vergelijken : het globale evaporatiepatroon biedt op kleine variaties na, steeds dezelfde allure (fig. 84 tot 88). De absolute waarden van de evaporatie variëren nochtans in functie van de omstandigheden (temperatuur, R.V. straling).



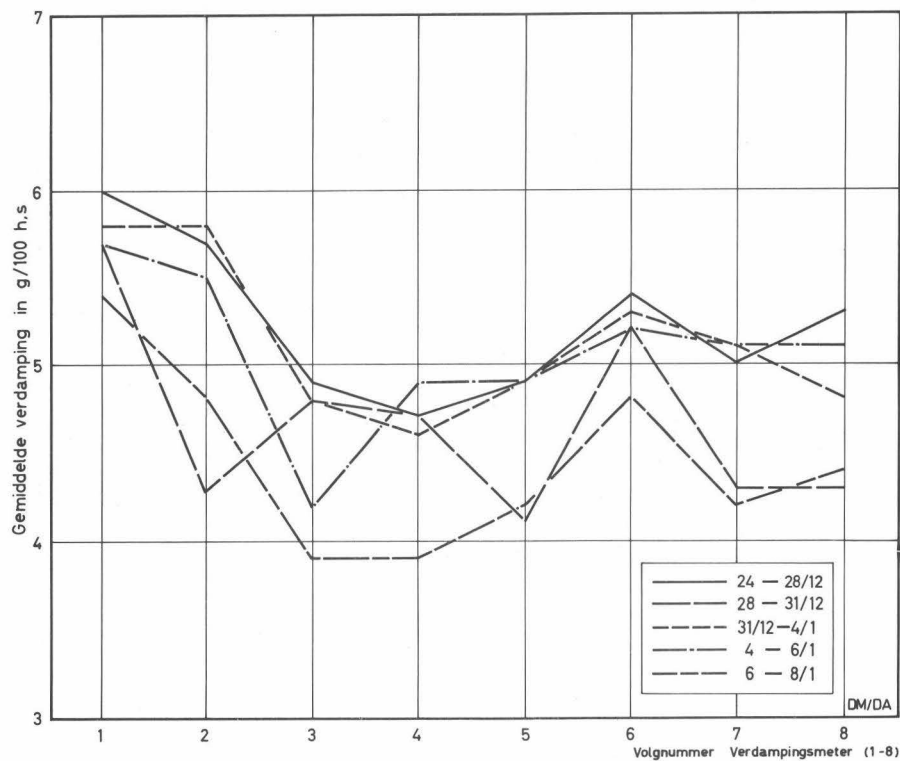
Evaporatiepatroon in hok N/7
(27.11.64 tot 11.12.64)

figuur 84



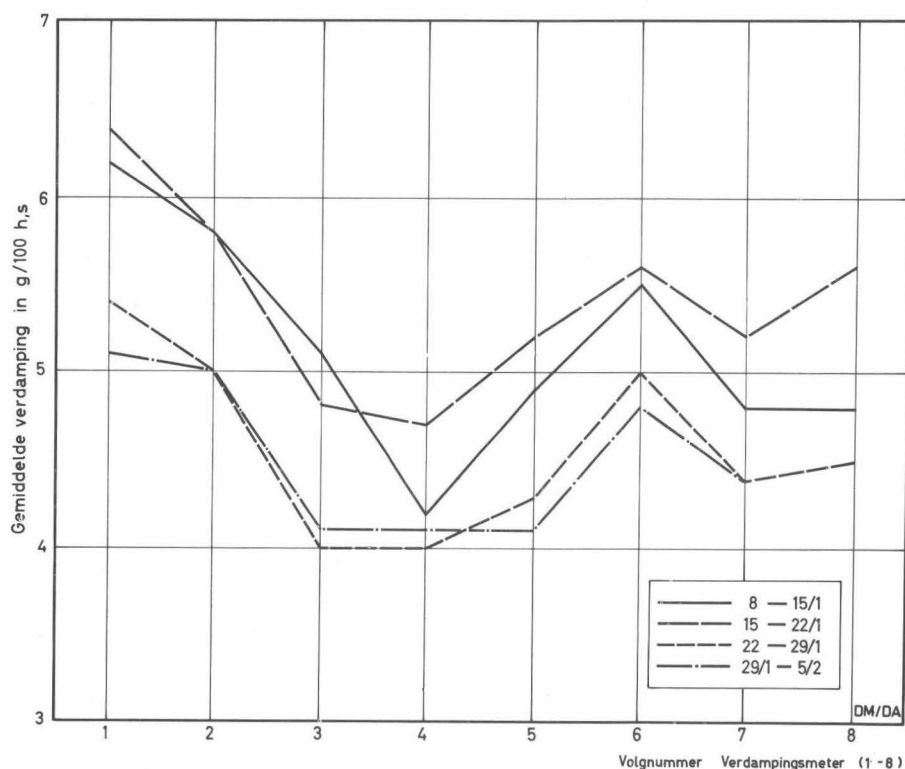
Evaporatiepatroon in hok N/7
(11.12.64 tot 24.12.64)

figuur 85



Evaporatiepatroon in hok N/7
(24.12.64 tot 8.1.65)

figuur 86

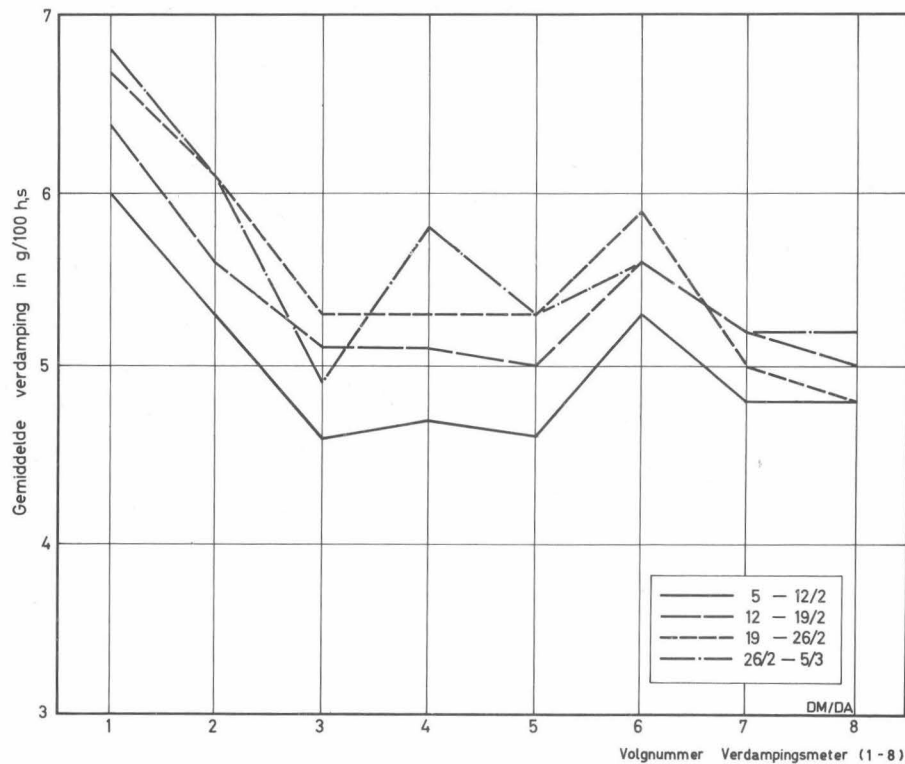


Evaporatiepatroon in hok N/7
(8.1.65 tot 5.2.65)
figuur 87

Het wekelijks bepaalde evaporatiepatroon voor elk van de andere onderzochte hokken, behoudt eveneens duidelijk dezelfde vorm. Alleen de verdampingshoeveelheden zelf variëren naargelang de ogenblikkelijke omstandigheden, zoals dit voor het hok N/7 werd aangetoond.

De waarnemingen voor de andere hokken worden echter niet in detail vermeld, omdat er geen nieuwe elementen of conclusies kunnen worden uit afgeleid.

Voor de verdere studie van het evaporatiepatroon werden de wekelijkse verdampingshoeveelheden in elk hok samengegeld, zodat een klaar en typisch beeld ontstaat over een langere periode. Aldus is ook de vergelijking tussen de verschillende onderzochte systemen gemakkelijker uitvoerbaar.

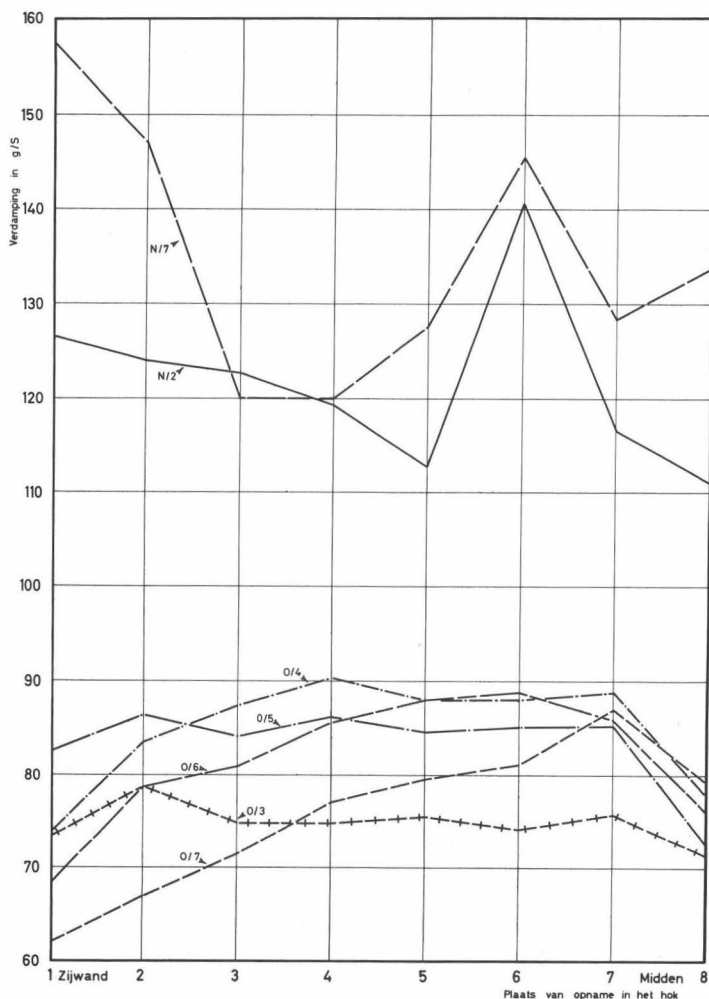


Evaporatiepatroon in hok N/7
(5.2.65 tot 5.3.65)
figuur 88

De typische vorm van het evaporatiepatroon wordt voor elk van de 7 onderzochte hokken in de samengevatte waarnemingen op figuur 89 voorgesteld.

De grondige studie van het evaporatiebeeld over 2670 h in de onderzochte hokken, liet toe 5 karakteristieke evaporatiepatronen te onderkennen (fig. 89) :

- 1) hok 0/3 en 0/5 met luchtstroomrichter voor de inlaatopeningen.
- 2) hok 0/4 en 0/6 zonder luchtstroomrichter voor de inlaatopeningen.
- 3) hok 0/7 met dubbel centraal kanaal zonder inlaatopeningen in de zijwanden.
- 4) hok N/2 : luchtstroomrichter voor de inlaat, centraal afzuigkanaal en vloerverwarming.
- 5) hok N/7 : luchtstroomrichter voor de inlaat, centraal afzuigkanaal en onrechtstreekse luchtverwarming nabij de inlaat.



Globaal evaporatiepatroon voor de
7 onderzochte hokken (duur waarne-
mingen 2.670 h)

figuur 89

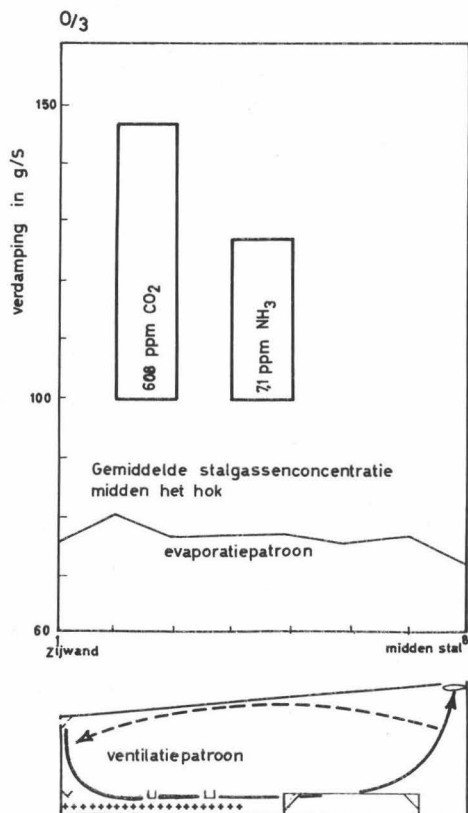
Hokken 0/3 en 0/5 (fig. 90 en 91)

De hokken 0/3 en 0/5 vertonen vanaf meetpunt 2 tot 7 een ongeveer constante evaporatie. De verdamping bij punt 1 en 8 is lager.

De verklaring voor de vorm van dit patroon zou kunnen zijn :

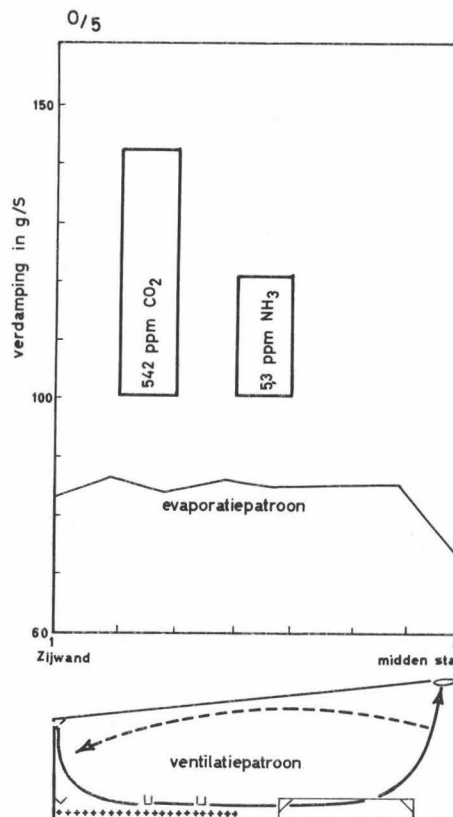
- de hoofdluchtstroom komt reeds van bij de zijwand in de verblijfszone en heeft aanvankelijk nog een lagere temperatuur en hoge relatieve luchtvochtigheid (lage waarde voor punt 1).
- de luchtverplaatsing is verder gelijkmatig over de breedte van het hok, als resultaat van de luchtstroomrichter (constante evaporatie vanaf 2 tot 7).
- voor punt 8 buigt de luchtstroom waarschijnlijk reeds naar omhoog onder invloed van de ventilator (lage waarde voor 8).

Gezien als gevolg van de inrichting van de hokken (hfst.II), meest vocht in het strooisel terecht komt over de afstand van de 4 eerste meetplaatsen, is het uitermate belangrijk dat de evaporatiemogelijkheid reeds op deze plaatsen aanzienlijk is.



Ventilatie-, evaporatiepatroon en gemiddelde stalgassenconcentratie in hok 0/3

figuur 90



Ventilatie-, evaporatiepatroon en gemiddelde stalgassenconcentratie in hok 0/5

figuur 91

Op de figuren 90 en 91 wordt schematisch het gevonden evaporatiepatroon weergegeven, alsmede de luchtstromingen van het ventilatiepatroon. De zone in het hok waar het meeste vocht wordt geproduceerd wordt door kruisjes aangeduid.

De verdampingshoeveelheid varieerde gedurende de waarnemingsperiode tussen 2 en 4 g per 100 h. Deze hoeveelheid heeft betrekking op de blootgestelde oppervlakte (S) van het filtreerschijfje = 10 cm².

Zoals uit figuur 97 zal blijken, was deze hoeveelheid evenwel onvoldoende, om het vochtgehalte van het strooisel binnen de gewenste grenzen te kunnen houden. Dit wijst duidelijk op een tekort aan beschikbare warmte als gevolg van het niet harmoniëren van warmte- en vochtbalans.

Naargelang de klimaatsomstandigheden, varieert de verdamping van het enkelvoudige tot het dubbele, doch het algemeen patroon blijft steeds hetzelfde.

Hokken 0/4 en 0/6 (fig. 92 en 93)

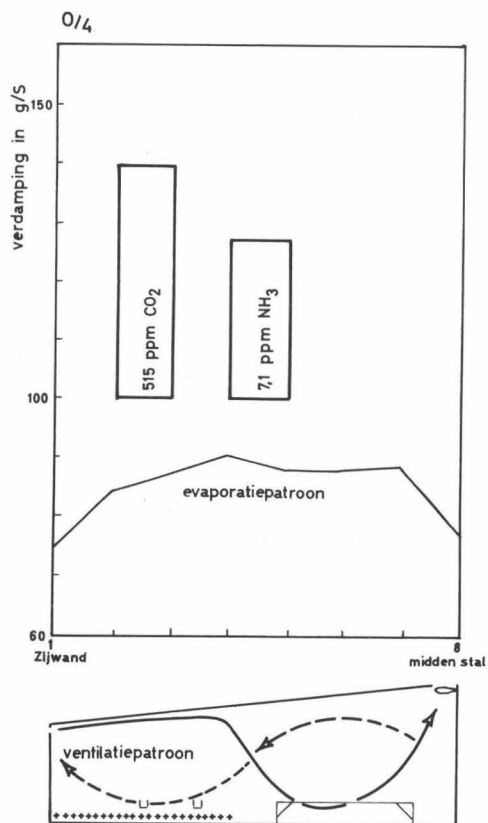
Deze hokken zonder luchtstroomrichters bij de inlaatopeningen, vertonen een onderling goed vergelijkbare vorm van het evaporatiepatroon (fig. 89).

Op de figuren 92 en 93 wordt schematisch het gevonden evaporatiepatroon weergegeven; alsmede de luchtstromingen van het ventilatiepatroon.

De zone waar het meest vocht wordt geproduceerd in het hok (1-4), valt niet samen met de plaats waar de hoogste verdampingsmogelijkheid bestaat (4-6). Dit wijst erop dat de ventilatieinrichting niet aangepast is aan de hokinrichting, zodat de zone nabij drinkbakken en voederdooier minder snel uitdroogt, dan indien een luchtstroomrichter aanwezig ware.

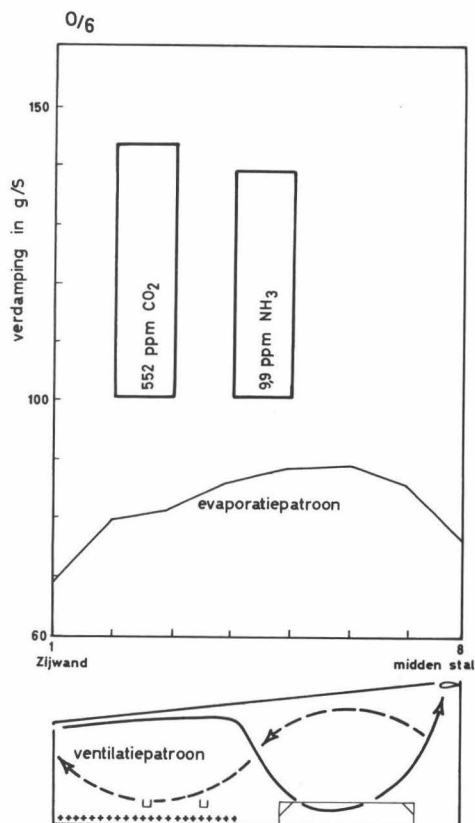
De lagere verdampingshoeveelheid in het gebied 1 - 4, is wellicht het gevolg van de secundaire luchtbeweging, gekenmerkt door lagere L.S. en hogere vochtigheidsgraad.

De verdampingshoeveelheid varieerde voor een oppervlakte S tussen 2 en 5 g/100 h.



Ventilatie-, evaporatie-
patroon en gemiddelde
stalgassenconcentratie
in hok 0/4

figuur 92



Ventilatie-, evaporatie-
patroon en gemiddelde
stalgassenconcentratie
in hok 0/6

figuur 93

Deze grenzen liggen verder uiteen dan voor de hokken 0/3 en 0/5, wat er op wijst dat de uitdroging niet gelijkmatig is over de doorsnede (niet horizontaal evaporatiepatroon). De totale verdamping is hier immers ongeveer gelijk als voor het hok 0/3 en 0/5, wat volgt uit tabel 9; de geringe verschillen zijn ongetwijfeld het gevolg van de onderlinge afwijkingen in warmte- en vochthuishouding in de onderscheiden hokken.

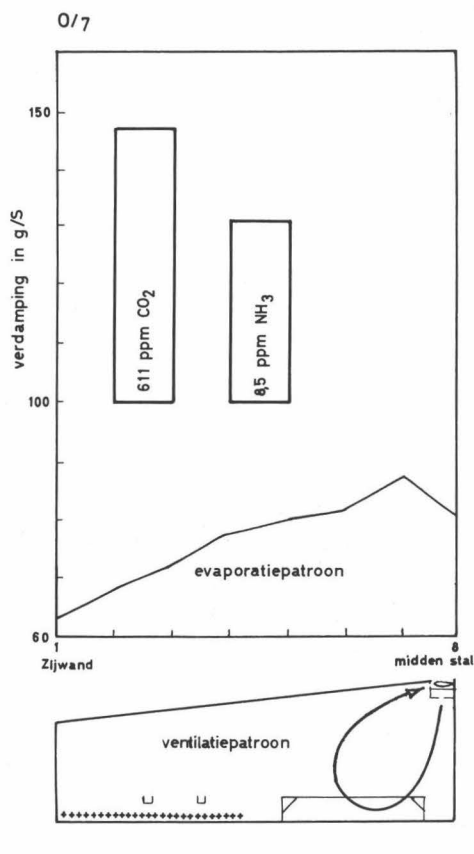
Hok 0/7 (fig. 94)

Wegens de duidelijk slechte bedrijfsresultaten in dit hok, kon het gebruikte ventilatiesysteem reeds vóór de aanvang van het onderzoek worden veroordeeld.

Het ventilatie- en evaporatiepatroon wordt schematisch op figuur 94 weergegeven. Uit het ventilatiepatroon volgt onmiddellijk de verklaring van de belangrijke evaporatiemogelijkheid midden in het hok. Deze zone valt echter niet samen met de plaats waar de belangrijkste vochtproductie voorkomt.

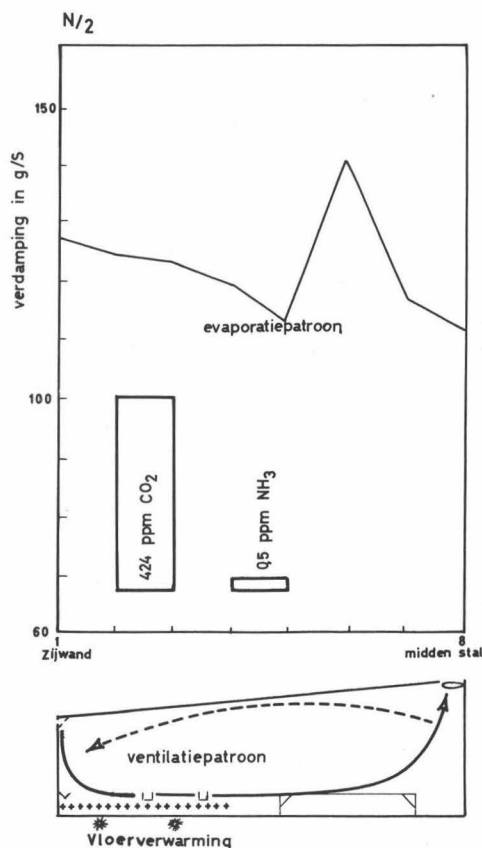
Vanaf meetpunt 7 naar de zijwand toe, vermindert de vochtafvoer met de ventilatie vrij aanzienlijk. De afgevoerde waterdamphoeveelheden van een oppervlakte S, variëren tussen 4 g/100 h (meetpunt 7) en 2 g/100 h (meetpunt 1).

Het is duidelijk dat dergelijk ventilatiesysteem geenszins aan de verwachtingen kan beantwoorden, zowel wegens de deficiënte ventilatieluchtstroming (kortsluitluchtstroom) als wegens het ondoelmatige evaporatiepatroon.



Ventilatie-, evaporatiepatroon en gemiddelde stalgassenconcentratie in hok 0/7

figuur 94



Ventilatie-, evaporatiepatroon en gemiddelde stalgassenconcentratie in hok N/2

figuur 95

Hok N/2 (fig. 95)

Door een mest-scraper onder de zitstokken wordt de verse mest regelmatig verwijderd. Dit hok is voorzien van een luchtstroomrichter bij de inlaat. Bovendien werd in de zone tussen 1 en 2 een eerste, en tussen 3 en 4 een tweede verwarmingsbuis in de betonvloer ingewerkt. Dit had tot doel, de niet-harmoniëring van warmte- en vochtbalans op te heffen. Gezien meest vocht in het strooisel terechtkomt in de zone 1 - 4, is de keuze van de plaats voor de warmwaterbuizen verantwoord.

Het is waarschijnlijk dat het strooisel hier snel en grondig zal uitdrogen, gezien de verwarmde vloer. Dit wordt bevestigd door figuur 97. Gezien daarenboven voor de verdamping practisch geen warmte meer uit de lucht wordt onttrokken, kan aanzienlijk meer worden geventileerd, en de R.V. is lager wat zich duidelijk manifesteert in de verdamping uit de Piche-meters (fig. 89). De convectiewarmteafgifte uit het strooisel heeft ongetwijfeld eveneens een invloed op ventilatiehoeveelheid, relatieve luchtvochtigheid en verdamping uit de Piche-meters. Het is klaar dat het evaporatiepatroon in dit bijzonder geval, niet de getrouwe weergave is van de vochtafvoer langs de ventilatie, aangezien nu niet alleen een belangrijke rol wordt gespeeld door de ventilatie maar ook door de vloerverwarming.

De verdampingshoeveelheden van een oppervlakte S schommelen tussen 3 en 6 g/100 h met een maximum tot 8 g/100 h.

De waargenomen toestand wordt schematisch op figuur 95 voorgesteld.

De allure van het gevonden evaporatiepatroon, wijst op twee uitgesproken maxima in de breedte van het hok.

Het eerste is ongetwijfeld het gevolg van de vloerverwarming. De verklaring voor de tweede piek is minder duidelijk. Als mogelijke veronderstellingen kunnen worden genoemd :

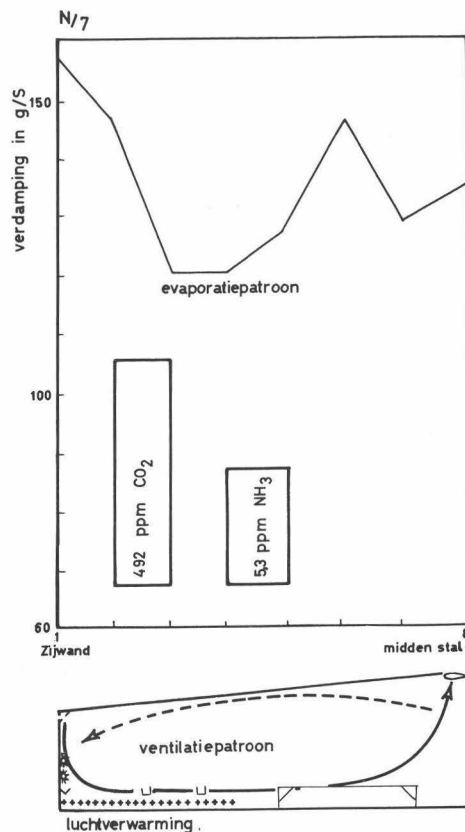
- de stralingsinvloed van de zware moederdieren, die uiteraard rustiger zijn en gedurende langere tijd op de zitstokken blijven (meetplaats 6) dan de lichte dieren in de O-hokken.
- plaatselijke doch niet gedetermineerde hogere L.S. als gevolg van constructiedetails.

Uit deze opnamen volgt dat dit ventilatiesysteem in combinatie met de vloerverwarming volledige voldoening kan geven.

Hok N/7 (fig. 96)

De ventilatieinrichting is analoog aan deze in N/2. Voor de bijverwarming werden de warmwaterbuizen tegen de zijwand onder de inlaatopeningen aangebracht.

Ventilatie- en evaporatiepatroon worden schematisch in figuur 96 voorgesteld.



Ventilatie-, evaporatiepatroon en
gemiddelde stalgassenconcentratie
in hok N/7

figuur 96

De zone 1 - 2 vertoont een duidelijke invloed van de lucht- en stralingsverwarming. Bij meetpunt 6 wordt opnieuw een piek genoteerd.

De afgevoerde waterhoeveelheden van een oppervlakte S, variëren tussen 3 en 7 g/100 h.

Het aanzienlijke evaporatievermogen nabij de inlaat is gunstig voor de vochtafvoer en staakt de veronderstelling dat de binnenstromende ventilatielucht snel en grondig wordt gemengd met stallucht en met convectiewarmte door de warmwaterbuizen afgegeven.

Bij deze opstelling geschiedt de uitdroging van boven uit. Dit veronderstelt wel dat het strooisel regelmatig door de dieren wordt omgewerkt. Indien dit niet voldoende geschiedt, dan moet door handwerk daaraan worden voldaan, wil men een grondige uitdroging tot stand brengen.

3.2.6.2. Bespreking van de resultaten

De confrontatie van deze theoretisch gebaseerde metingen met de werkelijke toestand van het bodemstrooisel, zou de beste controle betekenen voor de waarde die aan deze meettechniek kan worden gehecht.

Indien de vochtproductie in het strooisel gelijk zou zijn op de verschillende meetplaatsen, dan zou het logisch geweest zijn regelmatig het vochtgehalte van het strooisel onder deze meetplaatsen te bepalen. Dit is echter zeker niet het geval.

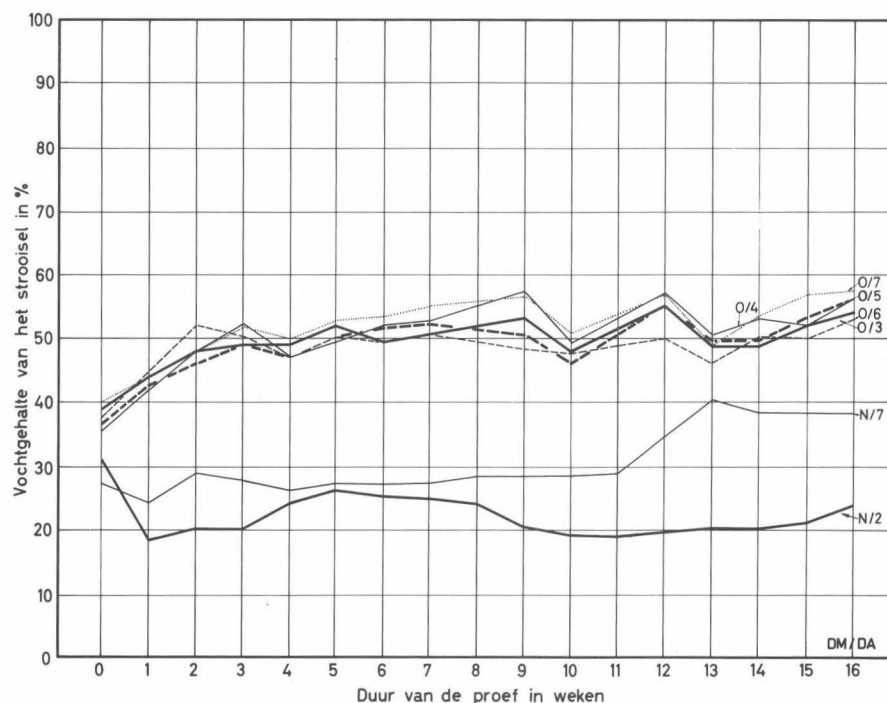
Voortgaande op deze overwegingen werd besloten wekelijks één gemiddeld monster van het strooisel te nemen in elk van de hokken en de evolutie van het vochtgehalte te volgen. Op die manier kan weliswaar het effect van het ventilatiepatroon niet worden nagegaan, doch wel in hoever hoge waarden op de Piche-meter afgelezen werkelijk overeenstemmen met laag vochtgehalte van het bodemstrooisel.

Elk monster werd samengesteld uit kleine strooiselhoeveelheden over meerdere regelmatig verspreide plaatsen in het hok genomen.

De evolutie van het vochtgehalte van het strooisel in de verschillende hokken wordt voorgesteld op figuur 97.

Er kan geen uitgesproken verschil worden waargenomen in het vochtgehalte van het strooisel voor de onverwarmde O-hokken.

Bij een foutief ventilatiepatroon echter, zijn bepaalde zones in het hok droger en andere vochtiger; deze vaststelling kon herhaaldelijk worden gedaan.



Vochtgehalte van het bodemstrooisel in de
7 onderzochte hokken

figuur 97

Het feit dat het strooisel in N/2 aanzienlijk droger was dan in N/7, niettegenstaande het evaporatiepatroon eerder het omgekeerde zou doen vermoeden, kan als volgt worden verklaard. De luchtverwarming in N/7 en de daaruit resulterende belangrijkere ventilatie, geven aanleiding tot een lagere R.V. van de stallucht. De evaporatieverschijnselen zijn afhankelijk van dampspanningsverschillen (stallucht-strooisel in het ene geval en stallucht-grenslaag filtreerstrookje in het andere geval). Het verdampte water van het filtreerstrookje wordt waarschijnlijk veel sneller en gemakkelijker aangevuld dan dit het geval is bij het bodemstrooisel. De invloed van de warmtebron is derhalve belangrijker op het filtreerstrookje dan op het strooisel. De op de Piche-meters afgelezen waarden zullen dan ook in dit geval slechts een getrouw en vergelijkbaar beeld geven van de verdamping, wanneer het strooisel voortdurend omgewerkt wordt.

Voor N/2 met bodemverwarming zullen de waarden op de Piche-meter zeker geen volledig getrouw beeld geven van de uit het strooisel verdampende hoeveelheid water. De warmtebron heeft nu inderdaad een belangrijker inwerking op het vocht in het strooisel, dan op het water in het filtreerstrookje.

Dit doet echter niets af aan de waarde van deze methode, aangezien zij de evaporatiemogelijkheid kenmerkt in verschillende punten in functie van de ventilatie en van de luchtstroomkarakteristieken.

In hok N/2 wordt de verse mest onder de zitstokken enkele malen per dag afgevoerd door een mest-scraper. Op deze wijze kan, zelfs mits een geringere dampafvoer door de ventilatie, toch nog een droger bodemstrooisel worden bereikt dan in N/7.

Voor deze beide N-hokken zijn wij er in geslaagd de toestand van het strooisel op elke plaats in optimale conditie te houden, gedurende de kritische winterperiode, dit in tegenstelling met de O-hokken. Dit is dan ook een duidelijke bevestiging van de evaporatiemetingen.

Zowel de bijverwarming als het evaporatiepatroon zijn van essentieel belang voor het drogen van de gevaarlijkste zones in het hok. Hoe geringer de bijverwarming, des te belangrijker het wordt een aangepast patroon te voorzien.

Uit al deze beschouwingen volgt dat de totale vochtafvoer uit het hok afhankelijk is van de beschikbare warmte. De plaatselijke afvoer wordt vooral gekarakteriseerd door het evaporatiepatroon.

Bij de studie van de ventilatie dient derhalve rekening te worden gehouden met de hokinrichting.

Voor de 7 onderzochte hokken werd ook nagegaan wat de gemiddelde uitdroogsnelheid was per m^2 en per 24 h (tabel 9).

hoktype	uitdroging in g/m ² dag
hok 0/3	674,1
hok 0/4	762,3
hok 0/5	751,6
hok 0/6	734,4
hok 0/7	679,5
hok N/2	1097,1 (+ vochtafvoer door mest-scraper)
hok N/7	1215,0

Gemiddelde uitdroogsnelheid in de
verschillende hokken

tabel 9

Wanneer wordt aangenomen dat de vochtafvoer in N/7 de noodzakelijke evacuatie vertegenwoordigt, dan betekent de afvoer langs ventilatie in andere hokken slechts een breukdeel van het noodzakelijke (tabel 10).

hoktype	% vochtafvoer van het noodzakelijke
hok 0/3	55,4 %
hok 0/4	62,7 %
hok 0/5	61,8 %
hok 0/6	60,4 %
hok 0/7	55,9 %
hok N/2	90,2 % (+ afvoer door mest-scraper)
hok N/7	100,0 %

Vochtafvoer in de verschillende hokken
in % uitgedrukt t.o.v. het noodzakelijke

tabel 10

3.2.6.3. Besluiten

Met behulp van Piche-evaporimeters werd getracht in enkele hokken de uitdroogsgnelheid in verschillende punten te meten.

De vorm van het zogenaamde evaporatiepatroon voor elk hok wordt door verschillende factoren beïnvloed :

- a) door de ventilatieinrichting;
- b) door de plaats van de bijverwarming;
- c) door bepaalde constructiedetails.

Dit brengt met zich, dat met zorg moet worden bestudeerd of de inrichting aangepast is om de grootste uitdroging te verwezenlijken op die plaatsen in het hok, waar de maximale vochtproductie optreedt.

De verdampingshoeveelheid zelf wordt voornamelijk bepaald door de klimaatsomstandigheden. Een bijverwarming speelt dan ook een uiterst belangrijke rol voor het evenwichtig maken van de vochtbalans. Hieruit volgt dat er praktisch weinig verschil kan worden vastgesteld in het gemiddelde vochtgehalte van het strooisel voor de onderzochte O-hokken. De geringe verschillen zijn het gevolg van de aan elke stal eigen warmte- en vochthuishouding.

Nochtans kan onder invloed van het aan elke ventilatie eigen patroon, een uitdroging van het strooisel optreden, die niet beantwoordt aan de eisen. Sommige zones blijven dan relatief vochtig, terwijl andere een neiging tot te sterke uitdroging vertonen.

De aflezingen op Piche-evaporimeter geven goede aanduidingen over de mogelijkheid van vochtafvoer in de verschillende punten. Deze aflezingen zijn echter niet steeds evenredig met de uit het strooisel afgevoerde vochthoeveelheid. Dit is zeker niet het geval bij gebruik van bodemverwarming zoals in N/2, waar het filtreerstrookje enigszins anders reageert op de toegevoerde warmte dan het bodemstrooisel zelf.

De vergelijking van de resultaten voor de N- en O-hokken doet veronderstellen, dat een meer dan 50 % grotere vochtafvoer optreedt in de verwarmde hokken dan in de niet verwarmde.

De toestand van het bodemstrooisel toont aan dat de uitdroging in de verwarmde hokken gunstig, en in de onverwarmde hokken onvoldoende is.

De verdampingshoeveelheid in g/m^2 dag, bedraagt ongeveer 700 in de niet verwarmde hokken, en 1100 - 1200 in de verwarmde hokken.

HOOFDSTUK IV

VERDERE ANALYSE VAN HET MICROKLIMAAT IN DE ONDERZOCHE PLUIMVEEHOKKEN

4.1. DE KLASSIEKE METHODE VOOR HET BEPALEN VAN DE TEMPERATUURTOESTAND VAN EEN LOKAAL

Het is gebruikelijk de temperatuurtoestand van een hok uit te drukken door de zogenaamde luchttemperatuur, opgenomen in één enkel punt, gesitueerd ongeveer in het midden van het hok.

Dit geschiedt in de practijk meestal door aflezing op een eenvoudige thermometer. Deze is voor de kweker nagenoeg de enige objectieve index om het comfort van de dieren waar te nemen en te verwezenlijken.

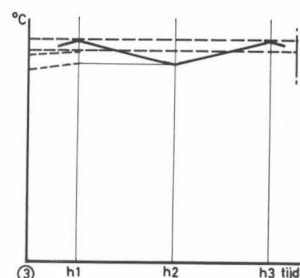
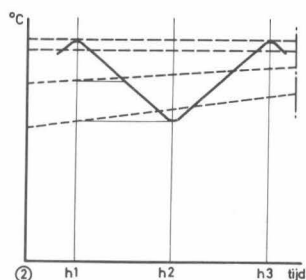
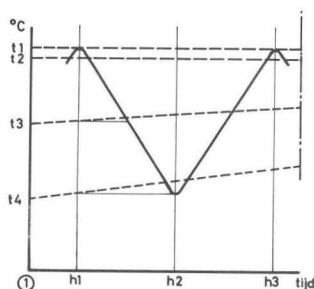
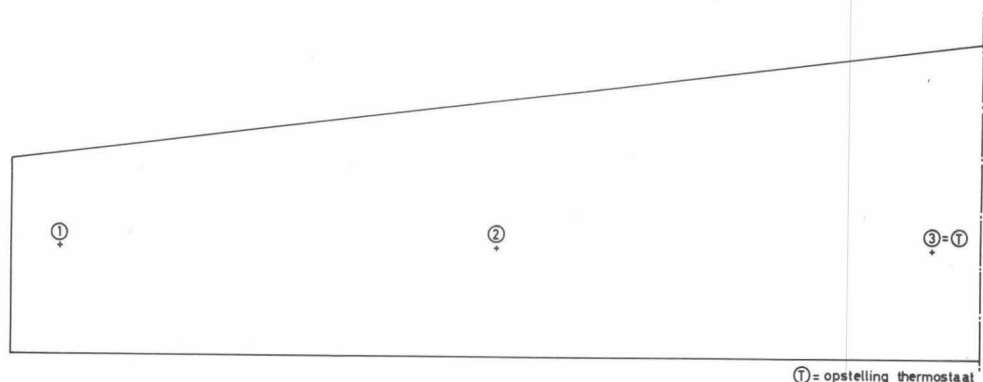
De waarneming van condensatiewater op vensters, muren en dakbeschoot, de reukgewaarwording e.a. zijn eigen zeer subjectieve aanwijzingen voor de toestand van de stalatmosfeer.

Nochtans moet met deze sterk vereenvoudigde meettechniek zeer omzichtig worden omgegaan.

Wij willen daarmede geenszins beweren, dat de kennis van de aldus bepaalde luchttemperatuur geen enkel nut zou hebben. Integendeel verschaft deze waarde en bijzonderlijk de variatie ervan in de tijd (thermografische waarnemingen), nuttige inlichtingen over bepaalde aspecten van de klimaatregeling.

In hoofdstuk III werd een belangrijke reeks waarnemingen van luchttemperaturen in verschillende punten van de staldoorsnede besproken, waaruit duidelijk tot uiting kwam, welke verschillen kunnen worden genoteerd in de ruimte.

Naast de temperatuurvariatie in de ruimte, kan nu dus ook rekening worden gehouden met de temperatuurverandering in de tijd. Als gevolg van convectiestromingen veroorzaakt door de warmteafgevendende lichamen, stijgt de temperatuur langzaam, om bij het in werking treden van de ventilatie opnieuw te dalen (fig. 98).



t1 = max temp. bij aanzetten ventilatie
 t2 = thermostaattemperatuur
 verschil t1 - t2 afhankelijk van reactiesnelheid en gevoeligheid van thermostaat
 t3 = gemiddelde temp. gedurende een korte periode
 t4 = min. temp. bij onderbreken ventilatie
 h1 tot h2 = ventilatieperiode
 h2 tot h3 = ventilatieonderbreking

Theoretische temperatuurvariatie in een hokdoorsnede in functie van tijd en plaats

figuur 98

Het is praktisch onmogelijk elk temperatuurverschil in het hok uit te schakelen. Dit is trouwens ook niet noodzakelijk, in zover de optredende temperatuurverschillen niet schadelijk worden voor de dieren.

Het temperatuurverloop in een bepaald punt mogen wij aanzien als vergelijkbaar met een sinusoidale functie. De amplitudo ervan voor een punt in de onmiddellijke nabijheid van de thermostaat, hangt hoofdzakelijk af van diens gevoeligheid en reactiesnelheid. Bij een geschikt regelapparaat zullen de temperatuurverschillen optredend in de nabijheid van de thermostaat, 's winters verwaarloosbaar zijn; zij kunnen met moeite worden onderkend op de thermograafwaarnemingen.

In de nabijheid van de inlaatopeningen echter, zullen de temperaturen sterker schommelen, doch ook hier weer is het temperatuurverloop in grote trekken sinusoidaal (fig. 98). Het is uitermate belangrijk de amplitudo dezer schommelingen door een snelle en grondige luchtmenging zo vlug mogelijk te dempen.

De plaatsing van de thermostaat speelt eveneens een belangrijke rol bij de uniformiteit van de stalluchttemperaturen. Meestal wordt de voeler geplaatst op halve afstand tussen in- en uitlaat. Een plaatsing dicht bij de inlaat is niet gewenst, omdat de thermostaat zou kunnen beïnvloed worden door een luchtstroming waarvan de karakteristieken onvoldoende beantwoorden aan de algemene klimaatstoestand in het hok. Een plaatsing te dicht bij de uitlaat, zou eveneens een ondoelmatige regeling als gevolg hebben: zo zou de ventilatie slechts onderbroken worden op een ogenblik dat de stalruimte reeds te sterk is afgekoeld. De thermostaat mag dan ook niet dicht bij de uitlaat geplaatst worden dan op $1/3$ van de afstand uitlaat tot inlaat.

De periodiciteit van de temperatuurvariatie is de resultante van de convectiewarmteverliezen van dieren en andere warmtebronnen, van de isolatieverliezen en van de ventilatie.

Wij veronderstellen hierbij dat de thermische isolatie van het hok voldoende is, en dat de bezetting zodanig is dat, onder normale winteromstandigheden, meer warmte beschikbaar is dan de wandverliezen, zodat derhalve steeds ventilatie mogelijk blijft.

Bij de moderne regeltechnieken, waar de ventilatie nu traploos wordt geregeld, kan de temperatuurvariatie in een punt volledig uitgeschakeld worden, zolang zich geen uitzonderlijke buitenomstandigheden voordoen.

Naarmate de temperatuurvariaties in de tijd en in de ruimte 's winters geringer zullen zijn, zullen wij de ventilatie beter geslaagd hebben.

Door een reeks metingen willen wij nu verder bewijzen dat temperatuurwaarnemingen in één bepaald punt slechts een zeer vage aanduiding kunnen verschaffen over de geslaagdheid van het klimaat op gebied van luchttemperatuur (comfort van de dieren), doch een belangrijke waarde hebben voor de beoordeling van de ventilatieregeltechniek.

Voor deze metingen werd gebruik gemaakt van bimetaalthermografen met omlooptijd van 7 dagen.

4.1.1. Waarnemingen en discussie

Uit de hokken beschreven in hoofdstuk II werden er twee voor onderzoek uitgekozen : O/3 en N/2. De waarnemingen werden verricht gedurende 2 wintermaanden : januari en februari 1965.

Daarnaast werden ook metingen gedaan in mestkippenhok S/1, met kunstmatige verwarming en waar de ventilatie door tijdschakelaar werd bevolen.

Het O/3-hok kan als representatief worden aanzien voor de niet-verwarmde O-hokken. Al deze hokken hebben ongeveer dezelfde constructie en isolatie, bezetting, ventilatiehoeveelheid en -regeltechniek, die alle ventilatoren gelijktijdig in- of uitschakelt bij een temperatuur van 10 °C (hfst. II).

Ook de N-hokken zijn onderling analoog voor wat constructie, isolatie, bezetting, ventilatiehoeveelheid en -regeltechniek aangaat. Hier worden echter 3 thermostaten aangewend. De verschillende ventilatoren in een hok worden over de 3 thermostaten verdeeld, zodat, dank zij de instelling ervan, een trapvormige aanpassing van de ventilatiehoeveelheid kan worden verwezenlijkt. De N-hokken hebben daarenboven een kunstmatige verwarming.

In de O-hokken hebben wij bewust een lagere instelwaarde van de thermostaat gekozen (10 °C t.o.v. 12 °C) in een poging om door een hogere ventilatiegraad, het stalklimaat zuiverder te houden.

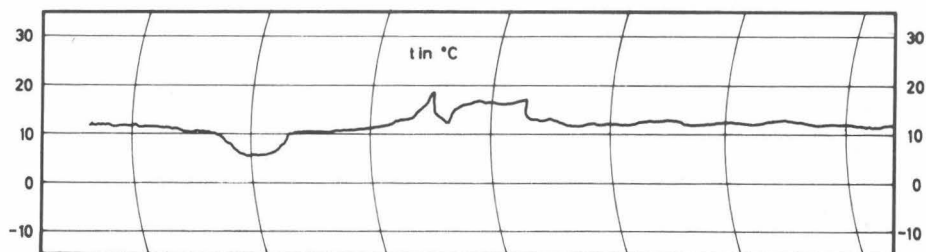
4.1.1.1. Waarnemingen

De thermografen werden opgesteld op 1,5m hoogte en op een horizontale afstand van ongeveer 1 m van de uitlaat.

In de figuren 99 tot 105 worden de thermograafwaarnemingen opgetekend voor de hokken N/2 en O/3.

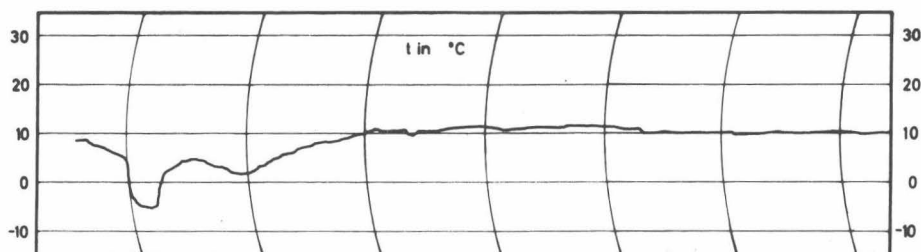
De buitentemperatuur gemeten in thermometerhut (op 1,80 m hoogte) voor de beschouwde periode wordt in tabel 11 (*) weergegeven.

(*) Deze gegevens zijn afkomstig van de Leerstoel voor Plantenteelt, Rijksfaculteit der Landbouwwetenschappen te Gent.



N/2

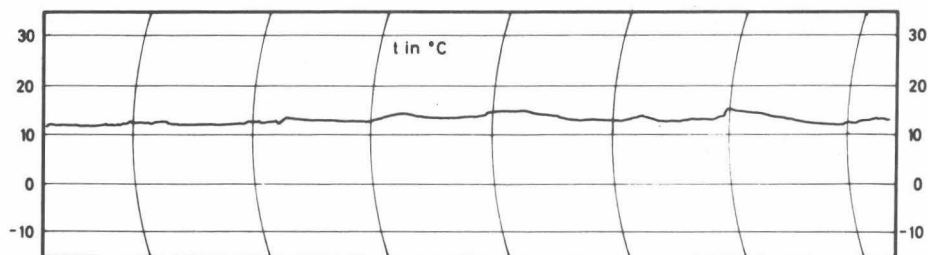
28.12.64 - 04.01.65



0/3

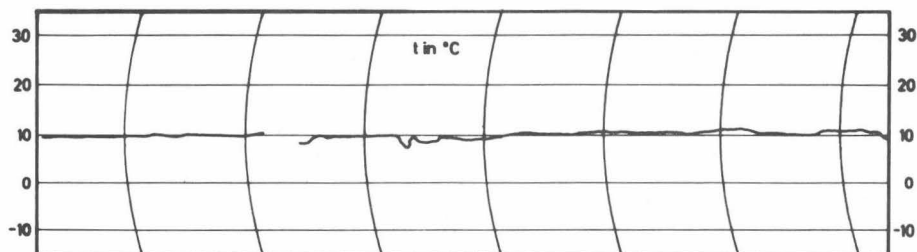
28.12.64 - 04.01.65

Synchronisch temperatuurverloop voor N/2 en 0/3
figuur 99



N/2

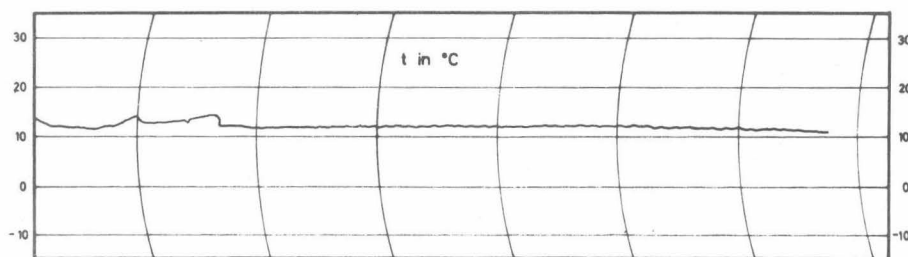
04.01 - 11.01.65



0/3

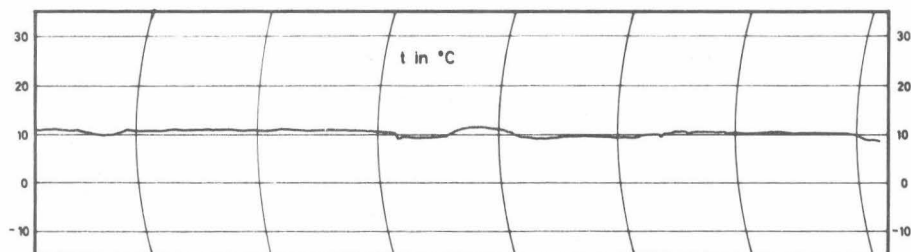
06.01 - 13.01.65

Synchronisch temperatuurverloop voor N/2 en 0/3
figuur 100



N/2

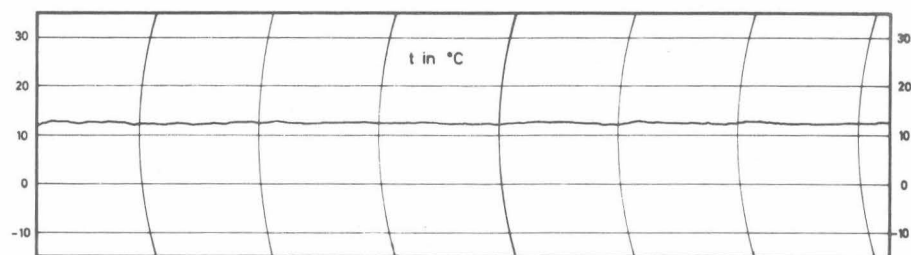
11.01 - 18.01.65



0/3

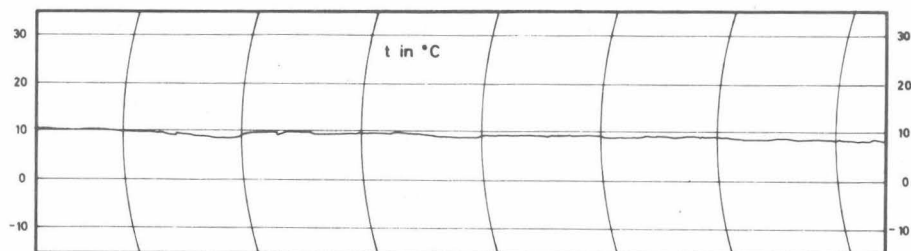
13.01 - 20.01.65

Synchronisch temperatuurverloop voor N/2 en 0/3
figuur 101



N/2

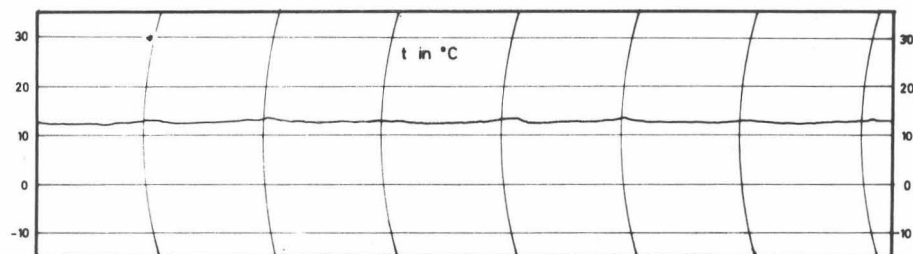
27.01 - 03.02.65



0/3

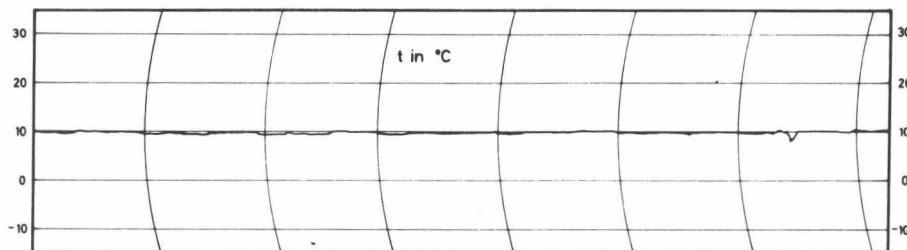
27.01 - 03.02.65

Synchronisch temperatuurverloop voor N/2 en 0/3
figuur 102



N/2

03 .02 - 10.02.65

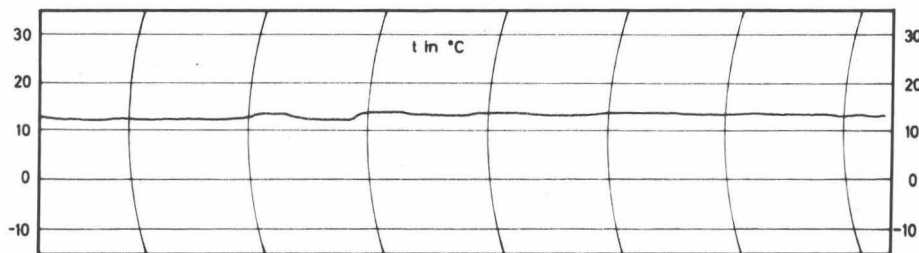


0/3

03.02 - 10.02.65

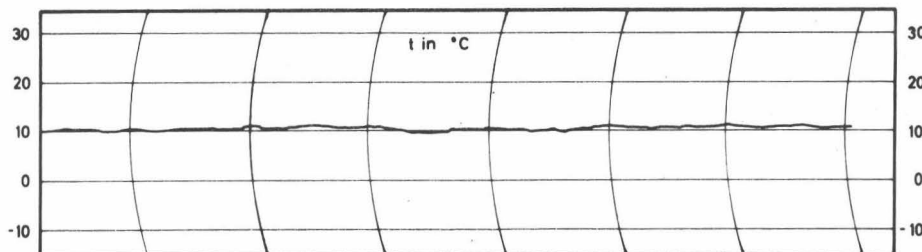
Synchronisch temperatuurverloop voor N/2 en 0/3

figuur 103



N/2

10.02 - 17.02.65

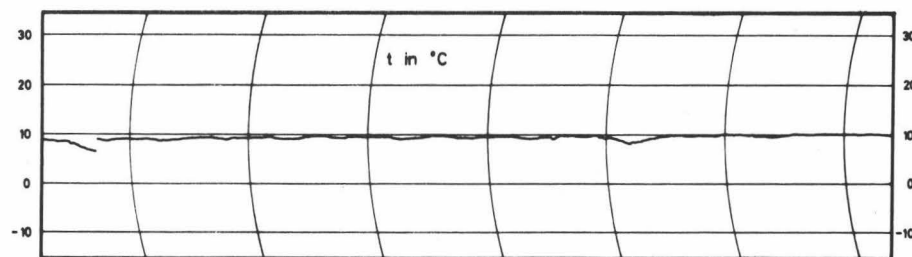
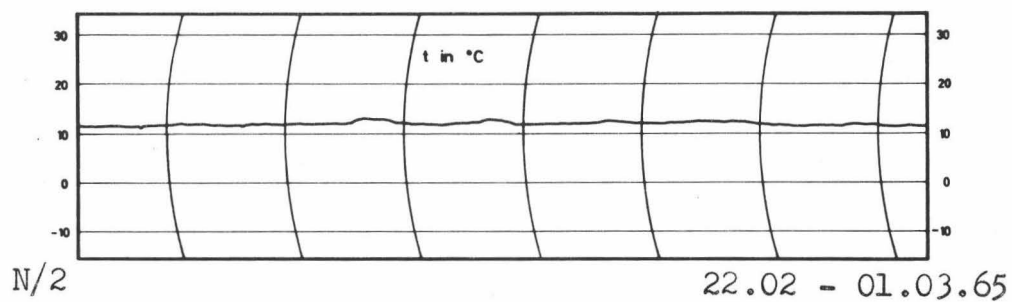


0/3

10.02 - 17.02.65

Synchronisch temperatuurverloop voor N/2 en 0/3

figuur 104



0/3

22.02 - 01.03.65

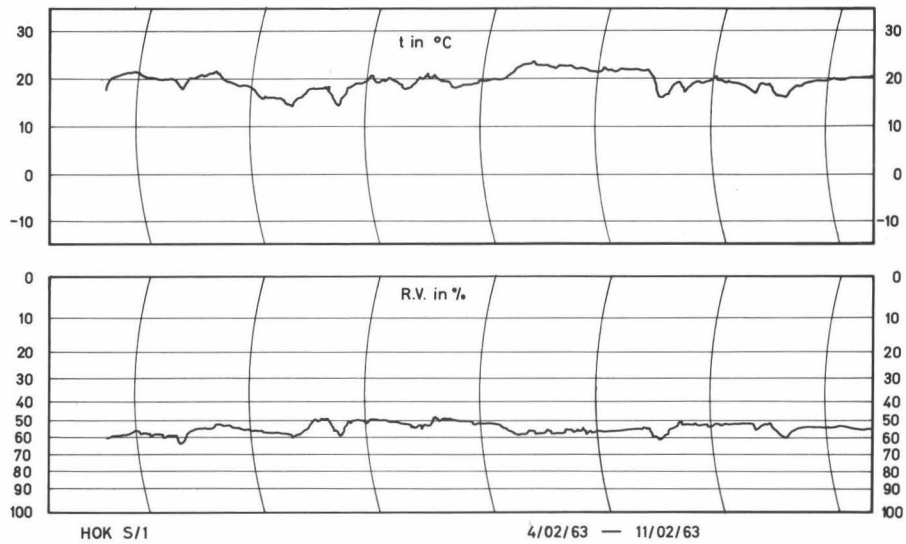
Synchronisch temperatuurverloop voor N/2 en 0/3

figuur 105

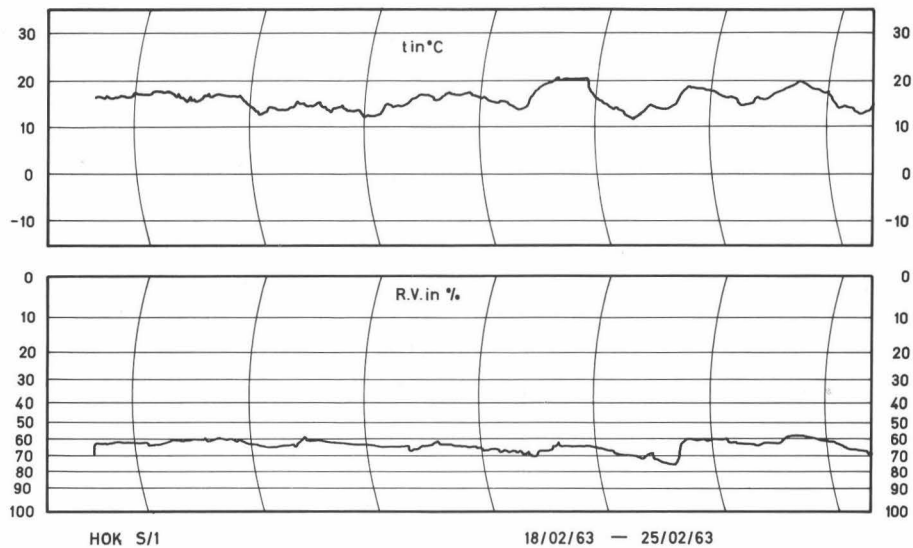
	gemidd. dag. maximum (M) °C	gemidd. dag. minimum (m) °C	gemidd.temp. $(\frac{M + m}{2})$ °C	laagste min. maandtemp.		hoogste max. maandtemp.	
				°C	datum	°C	datum
december 1964 =====							
3e decade	1,2	- 5,1	- 1,9	-13,6	29 dec	12,6	9 dec
januari 1965 =====							
1e pentade	4,1	0,5	2,3	- 2,9	28 jan	11,7	17 jan
2e pentade	8,5	4,6	6,6				
3e pentade	7,3	3,7	5,5				
4e pentade	7,1	1,8	4,5				
5e pentade	5,2	- 0,2	2,5				
6e pentade	1,7	- 1,2	0,3				
februari 1965 =====							
1e pentade	5,4	0,2	2,8	- 4,5	1 feb	8,2	13 feb
2e pentade	5,6	0,3	2,9				
3e pentade	6,5	3,0	4,7				
4e pentade	2,8	- 1,3	0,8				
5e pentade	3,7	- 1,4	1,1				
6e pentade	4,9	- 0,2	2,4				
maart 1965 =====							
1e pentade	1,4	- 3,5	- 1,1	- 7,4	3 mrt	21,0	29 mrt

Buitentemperaturen tijdens de onderzoeksperiode
tabel 11

In de figuren 106 en 107 worden de waarnemingen voorgesteld in het mestkippenhok met tijdgebonden ventilatie (tijdschakelaar).



Verloop van temperatuur en R.V. in
hok S/1 met tijdgebonden ventilatie
figuur 106



Verloop van temperatuur en R.V. in
hok S/1 met tijdgebonden ventilatie
figuur 107

4.1.1.2. Discussie van deze klassieke methode voor het opmeten van het thermisch klimaat in de hokken

De thermografische waarnemingen laten toe enkele belangwekkende besluiten te trekken.

De figuren betrekking hebbende op O/3 en N/2 geven ons volgende aanduidingen betreffende de warmtebalans :

- de ventilatiemogelijkheid was voldoende groot om de overtollige warmte bij normale winteromstandigheden af te voeren. Dit is trouwens logisch en normaal gezien de atmosferische toestand 's winters t.o.v. de omstandigheden 's zomers, waarvoor de ventilatie berekend wordt.
- de warmtebalans was ongetwijfeld ook slechts weinige uren negatief (daling van de hoktemperatuur beneden de instelwaarde op thermostaat en langdurige onderbreking van de mechanische ventilatie) gedurende de onderzoeksperiode. Dit bevestigt onze vroegere stelling dat de warmteverliezen door de wanden in de onderzochte hokken, zelfs vermeerderd met de warmteverliezen door natuurlijke ventilatie, zelden belangrijker zijn dan de beschikbare warmte van de dieren.
- op 29 december evenwel, bij een buitentemperatuur van $-13,6^{\circ}\text{C}$ daalt de temperatuur in het N/2-hok, en bijzonderlijk in het O/3-hok aanzienlijk onder de instelwaarde op de thermostaat. Dit betekent dat de warmteproductie lager is dan de verliezen door de wanden en door de natuurlijke ventilatie. Deze laatste is niet onbelangrijk, grijpt plaats door in- en uitlaatopeningen en wordt des te sterker naarmate de buitentemperatuur lager is. Ook als gevolg van windactie kunnen nog zeer grote warmteverliezen optreden, wanneer de mechanische ventilatie niet functioneert.

De sinusoidale schommelingen, als gevolg van het intermitterend werken van de ventilatoren, zijn in de waarnemingen van het O- en N-hok niet te onderkennen. Dit is het gevolg enerzijds van de centrale plaatsing van de thermograaf en van zijn traagheid. Ook de verschillen van de temperatuurtoestand in O/3 en N/2 in verband met de regelapparatuur zijn op de waarnemingen niet te herkennen.

Bij de vergelijking van de resultaten in de hokken O/3, N/2 enerzijds, en in S/1 anderzijds, kan duidelijk de invloed van het ventilatiemechanisme worden waargenomen. De tijdschakelaar in S/1 gebruikt, houdt geen rekening met de veranderingen in binnen- en buitenklimaat en ook niet met de veranderingen van de thermische verliezen door wanden en ventilatie. Het gevolg daarvan is dat de hoktemperatuur de variaties

van de buitentemperatuur volgt en dat aldus zeer sterke temperatuurschommelingen, zelfs midden in het hok, optreden. De schommelingen nabij de inlaatopeningen zullen onvermijdelijk nog sterker uitgesproken zijn.

In feite bekomt men hier dus een eerste temperatuurvariatie als gevolg van de veranderende buitentemperatuur, met daarenboven nog een variatie afhankelijk van de werking van de regelapparatuur. Uiteraard zijn de temperatuurwijzigingen als gevolg van de op geregelde tijdstippen in werking tredende ventilatie hier belangrijker (fig. 106 en 107) dan bij thermostatische sturing (O/3 en N/2). De ventilatie is hier niet automatisch functie van de hoktemperatuur, doch alleen van het ingestelde tijdschema.

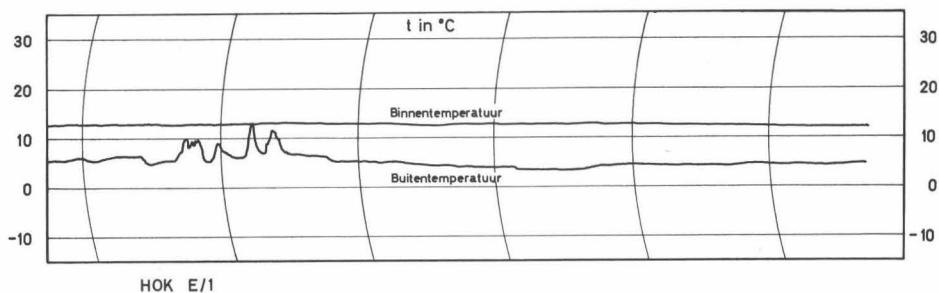
Het gebruik van een tijdschakelaar zou derhalve slechts mogen worden overwogen wanneer :

- de warmteproductie in het hok constant zou blijven;
- de warmteverliezen langs wanden en ventilatie slechts geringe veranderingen in de tijd zouden kennen.

Aan geen van beide voorwaarden wordt echter voldaan. De regelmatige aanpassingen van de ventilatieduur in functie van het buitenklimaat is een hulpmiddel om al te sterke temperatuurschommelingen te voorkomen. Deze dient echter door de kweker uitgevoerd en is dus subjectief en onzeker.

Bij traploos geregelde ventilatie is de temperatuurcurve een vloeiende lijn (fig. 108), die slechts accidenteel door een snel optredende variatie van temperatuur wordt gekenmerkt :

- bij warmteverliezen door de wanden die groter zijn dan de nuttige warmteproductie in het hok;
- bij relatief hoge buitentemperaturen waarbij de warmteverliezen door de wanden, vermeerderd met de warmteverliezen door een maximale ventilatie, nog kleiner blijven dan de nuttige warmteproductie.



Temperatuurverloop bij traploos geregelde ventilatie
figuur 108

4.1.2. Besluiten

De temperatuurregistratie in een punt ongeveer midden in het hok geeft dus wel enige nuttige aanduiding over de doelmatigheid van het ventilatieregelmechanisme en over de warmtebalans.

Deze gegevens zullen echter totaal onvoldoende zijn voor de juiste en volledige beoordeling van het microklimaat in de oponthoudszone van de dieren en moeten worden aangevuld door metingen in de staldoorsnede zoals in hoofdstuk III vermeld.

Het ware inderdaad onjuist uit deze opnamen af te leiden dat het stalklimaat, voor wat betreft luchttemperatuur, ongeveer gelijkwaardig zou zijn in de O- en N-hokken, afgezien van het kleine temperatuurverschil van $\pm 2^{\circ}\text{C}$ dat doelbewust werd nagestreefd.

De belangrijke temperatuurschommelingen in het S_1 -hok waren te wijten aan het ventilatieregelmechanisme en de bediening ervan, en hebben aanleiding gegeven tot belangrijke schade in de kweek, door een abnormaal hoog ziekte- en sterftecijfer.

Bij traploos geregelde ventilatie, kan de staltemperatuur onder normale omstandigheden nagenoeg constant worden gehouden, omdat de ventilatie niet wordt onderbroken, doch zich automatisch aanpast aan de variatie van de buitenomstandigheden door een vermindering of vermeerdering van het ventilatiedebiet.

4.2. LUCHTVOCHTGEHALTE

Het "drooghouden" van hokken met bodemstrooisel is onder onze klimaatsomstandigheden ongetwijfeld de moeilijkst te verwezenlijken eis van de klimaatregeling. Het is dan ook aldus te verklaren dat de meeste onderzoekers de relatieve luchtvochtigheid in het hok aanzien als een waardevolle aanwijzing voor de beschrijving en de beoordeling van het stalklimaat. Relatieve luchtvochtigheid is slechts een begrip. Het geeft nochtans door zijn verbinding van de twee componenten temperatuur en waterdampgehalte, een beeld van de verzadigingsgraad van de lucht.

Sommige onderzoekers (LEHMEYER, 1927)(JANOWSKI, 1964)(HILLIGER, 1964) zijn voorstanders van het gebruik van de absolute vochtigheidsgraad (eventueel samen met de temperatuur) voor het karakteriseren van het stalklimaat.

De stelling dat het gebruik van de absolute vochtigheidsgraad als index voor het stalklimaat geldig is, zou kunnen verdedigd worden, wanneer men de warmtehuishouding van het dier wil bestuderen. Uit de dampspanning van de stallucht en de verzadigingsdampspanning bij lichaamstemperatuur van de dieren, kan namelijk het fysiologisch verzadigingsdeficiet worden afgeleid. De waarde van dit fysiologisch verzadigingsdeficiet bepaalt rechtstreeks de verdamping langs de ademhalingswegen en dus ook de warmteafgifte uit het dierlijk organisme door respiratie.

HILLIGER (1964) stelt voor, het verschil in absolute vochtigheid tussen stal- en buitenklimaat als karakteristieke factor te gebruiken voor de beschrijving van het stalklimaat.

LEHMEYER (1927) was voorstander van een verhouding in % tussen absolute vochtigheidsgraad van de stallucht en van de buitenatmosfeer.

Ons lijkt het gebruik van het begrip relatieve luchtvochtigheid niet vervangbaar door de absolute vochtigheidsgraad als index, en wel om volgende redenen :

Slechts weinige onderzoekers maken melding van de index absolute vochtigheid als factor van het stalklimaat.

Er zijn geen aanwijzingen dat een hoge absolute vochtigheid op zichzelf schadelijker zou zijn dan een lage. De voorstanders van

het gebruik van de absolute vochtigheid, geven geen of slechts zeer vage waarden binnen dewelke de toestand in de hokken moet worden beperkt.

Daarentegen zijn de grenzen binnen dewelke de R.V. moet worden gehouden bij normale staltemperaturen vrij nauwkeurig gekend (hfst. II).

De R.V. geeft ons onmiddellijke aanduidingen over het droogvermogen van de lucht, wat uitermate belangrijk is in pluimveehokken met het oog op het drooghouden van het bodemstrooisel.

De R.V. geeft ook concrete aanwijzingen over condensatiegevaar. De absolute luchtvochtigheidsgraad geeft daaromtrent geen enkele inlichting.

Bij de studie van de vochtbalans, wordt wel gebruik gemaakt van de absolute vochtigheid. Het is dan echter een factor in de berekeningen en niet een karakteristieke index van het stalklimaat.

Onder 4.2.2. zullen twee hokken worden vergeleken, waarvan de absolute vochtigheidsgraad volkomen gelijkwaardig is. Nochtans weten wij uit het onderzoek, dat de R.V. gemiddeld 15 % hoger was in het ene hok dan in het andere, met als gevolg een zeer vochtig bodemstrooisel.

Om deze redenen leek het ons gewettigd het begrip R.V. in ons onderzoek verder te gebruiken.

In de vorige paragraaf werd erop gewezen dat de meting in een punt van het hok slechts een globale indruk verschaft over de temperatuurstoestand. Ook de vochtigheidstoestand is verschillend van punt tot punt. De grenzen binnen dewelke de R.V. in een dierlijke huisvesting mag variëren, zijn gelukkig niet zeer eng (hfst. II).

Het is gebleken dat de onderzochte hokken, voor wat de relatieve luchtvochtigheid aangaat, tot 2 groepen kunnen worden herleid : de onverwarmde O-hokken en de verwarmde N-hokken. Uit beide groepen werden het O/3- en het N/2-hok dan gekozen voor de studie van de vochttoestand.

De vochtproductie in de N-hokken kan, door de belangrijke kaloriënaanvoer met de verwarming, over een aanzienlijkere ventilatiehoeveelheid worden verdeeld. De relatieve vochtigheid van de stallucht zal dan ook lager zijn in de N-hokken dan in de minder geventileerde O-hokken.

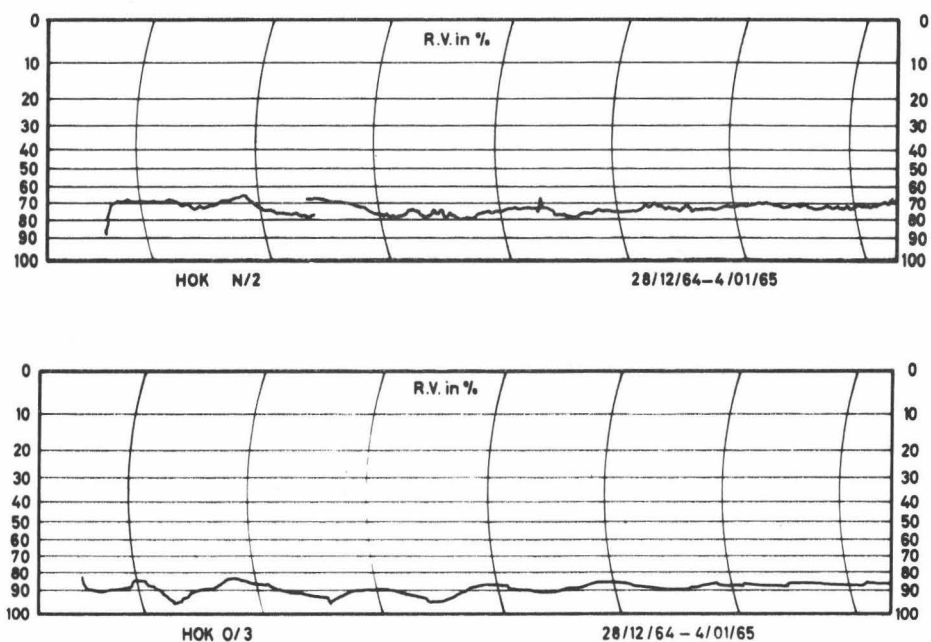
Dit verschil in R.V. is niet te wijten aan de andere instelwaarde op thermostaat (10°C t.o.v. 12°C) in beide hokken. In het O-hok wordt immers slechts een deel van het vocht geëvacueerd. Door de verhoging

van de staltemperatuur zou weliswaar meer damp kunnen worden afgevoerd per m^3 ventilatielucht, doch de ventilatiemogelijkheid zelf zou afnemen. Bovendien zou de verdamping uit mest en strooisel aanzienlijker worden, zodat de R.V. hoog zou blijven.

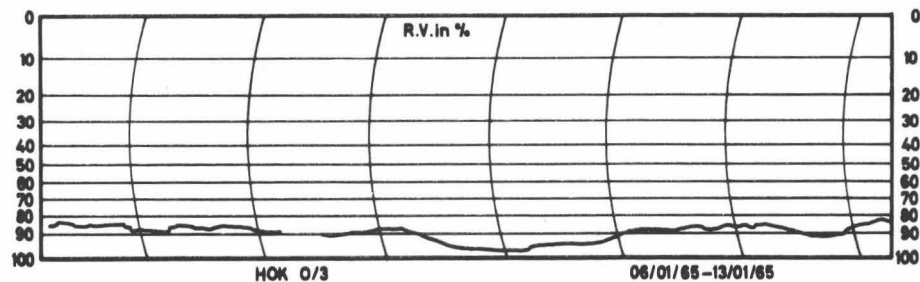
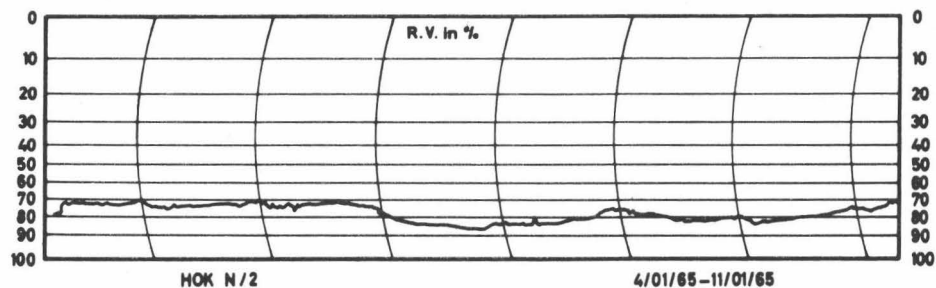
4.2.1. Het verloop van de relatieve luchtvochtigheid in een punt in functie van de tijd

De waarnemingen werden geregistreerd met de haarhygrograaf (type Lambrecht) die regelmatig met behulp van een Assmann-psychrometer werd geijkt.

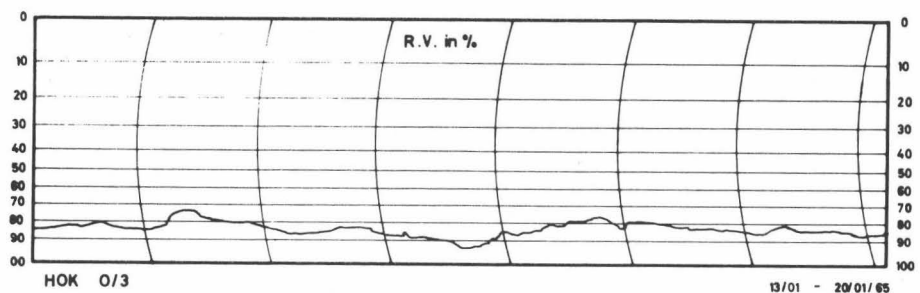
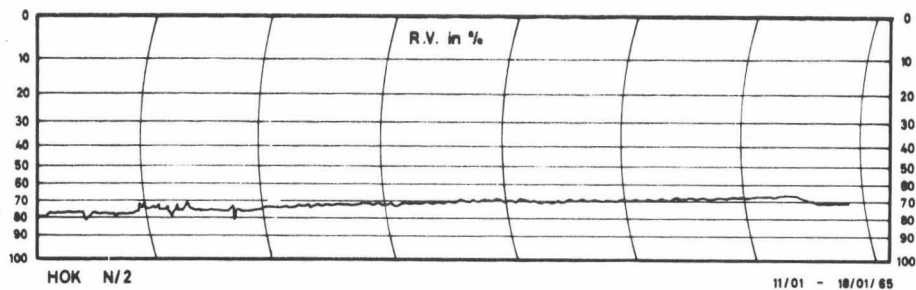
De metingen gebeurden gelijktijdig met de in vorige paragraaf besproken temperatuurregistraties. De hygrografische resultaten worden in de figuren 109 - 115 voorgesteld.



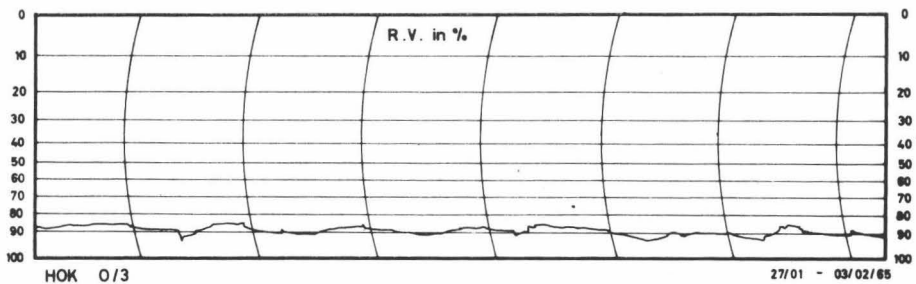
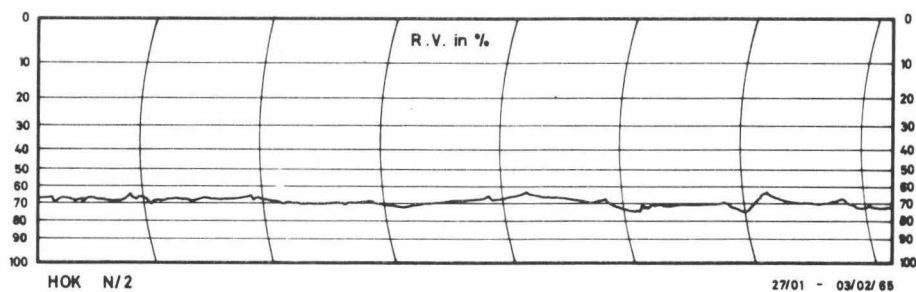
Synchronisch R.V.-verloop voor N/2 en O/3
figuur 109



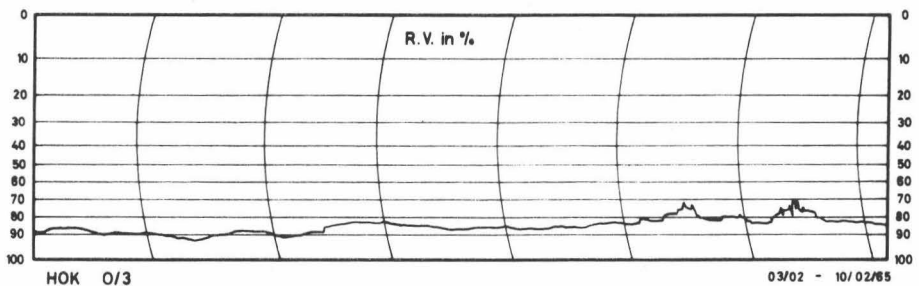
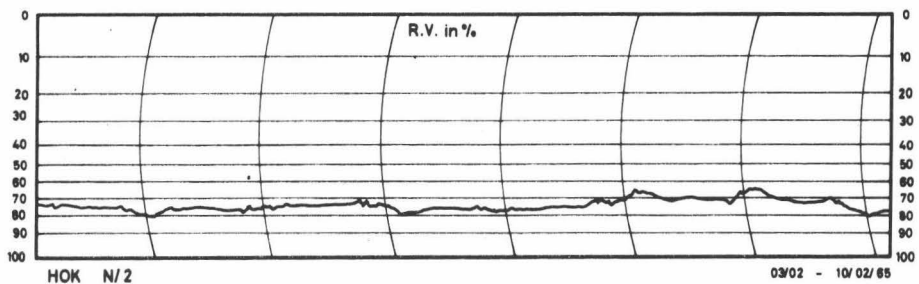
Synchronisch R.V.-verloop voor N/2 en O/3
figuur 110



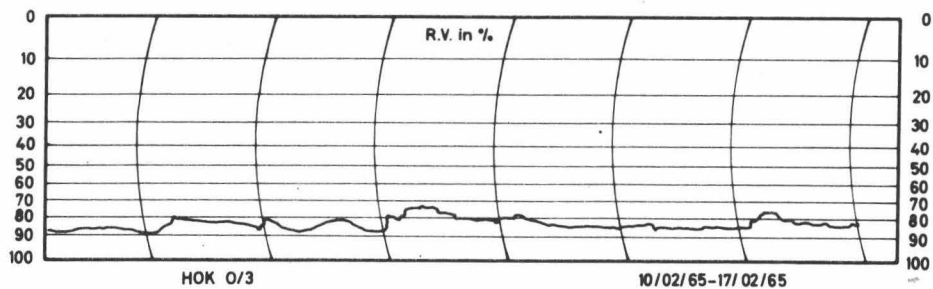
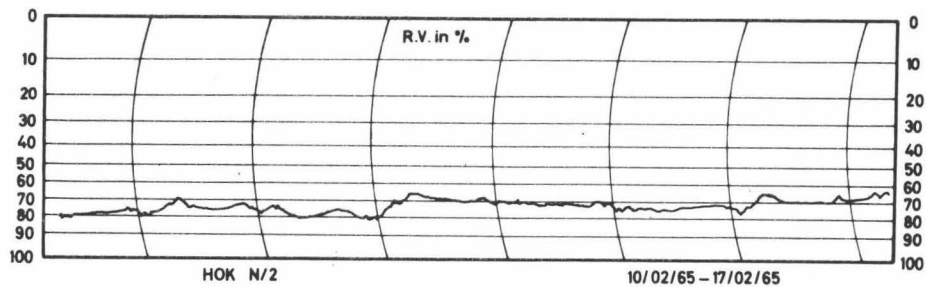
Synchronisch R.V.-verloop voor N/2 en O/3
figuur 111



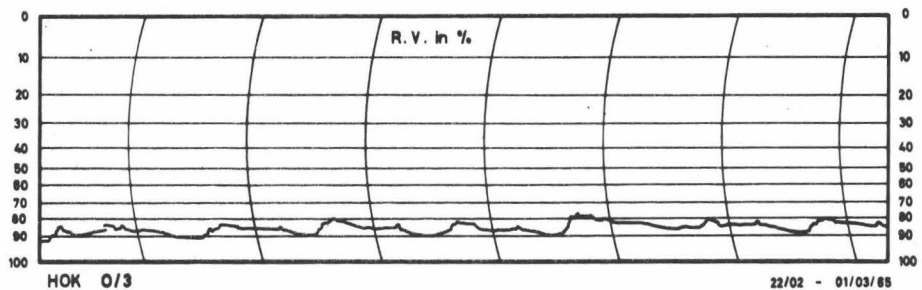
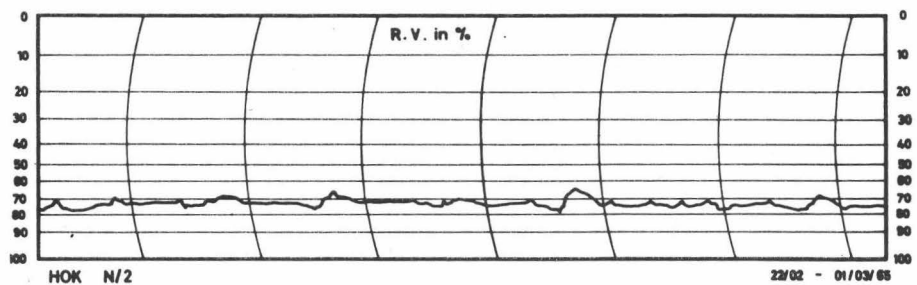
Synchronisch R.V.-verloop voor N/2 en O/3
figuur 112



Synchronisch R.V.-verloop voor N/2 en O/3
figuur 113



Synchronisch R.V.-verloop voor N/2 en O/3
figuur 114



Synchronisch R.V.-verloop voor N/2 en O/3
figuur 115

De relatieve luchtvochtigheid varieerde gedurende het onderzoek tussen 75 en 100 % in het onverwarmde hok en tussen 60 en 85 % in het verwarmde hok.

Daaruit kunnen twee vaststellingen worden geformuleerd :

- a) de variaties zijn in beide hokken, doch bijzonderlijk in het onverwarmde O/3-hok, zeer sterk en onregelmatig.
- b) de gemiddelde R.V. is aanzienlijk hoger in O/3 dan in het verwarmde N/2-hok.

Schommelingen in R.V.

Men zou kunnen denken dat het constant houden van de R.V. kan geschieden door als stuurautomaat voor de ventilatie gebruik te maken van een hygrostaat. Daardoor zou echter de controle over de hoktemperatuur worden verloren : de hoktemperatuur zou dalen en de R.V. nog verder stijgen.

Bij het voorzien van een bijverwarming, zoals in de N-hokken, is er echter wel een middel om de R.V. constant te houden; het sturen van de ventilatie zou daartoe thermostatisch moeten geschieden, het regelen van de bijverwarming met hygrostaat.

Er zijn echter geen aanwijzingen dat de schommelingen zelf van de R.V. schadelijk zouden zijn voor de dieren, zodat deze techniek niet werd toegepast.

Gemiddelde relatieve luchtvochtigheid

De gemiddelde R.V. ligt buiten de toegelaten grenzen in het onverwarmde hok. Dit staft onze stelling dat, wanneer de warmtebalans in evenwicht is, in pluimveehokken zonder bijkomende verwarming geen evenwicht in vochtbalans kan worden bereikt : de R.V. in het lokaal blijft te hoog en, zoals reeds werd bewezen (hfst. III), eveneens het vochtgehalte van het bodemstrooisel.

De gemiddelde R.V. in het verwarmde hok ligt binnen de toegelaten grenzen.

Naarmate het klimaatsgebied droger is, zal uiteraard minder bijverwarming voorzien moeten worden. Het is slechts in uitzonderlijke gevallen dat de harmoniëring van warmte- en vochtbalans bereikt wordt

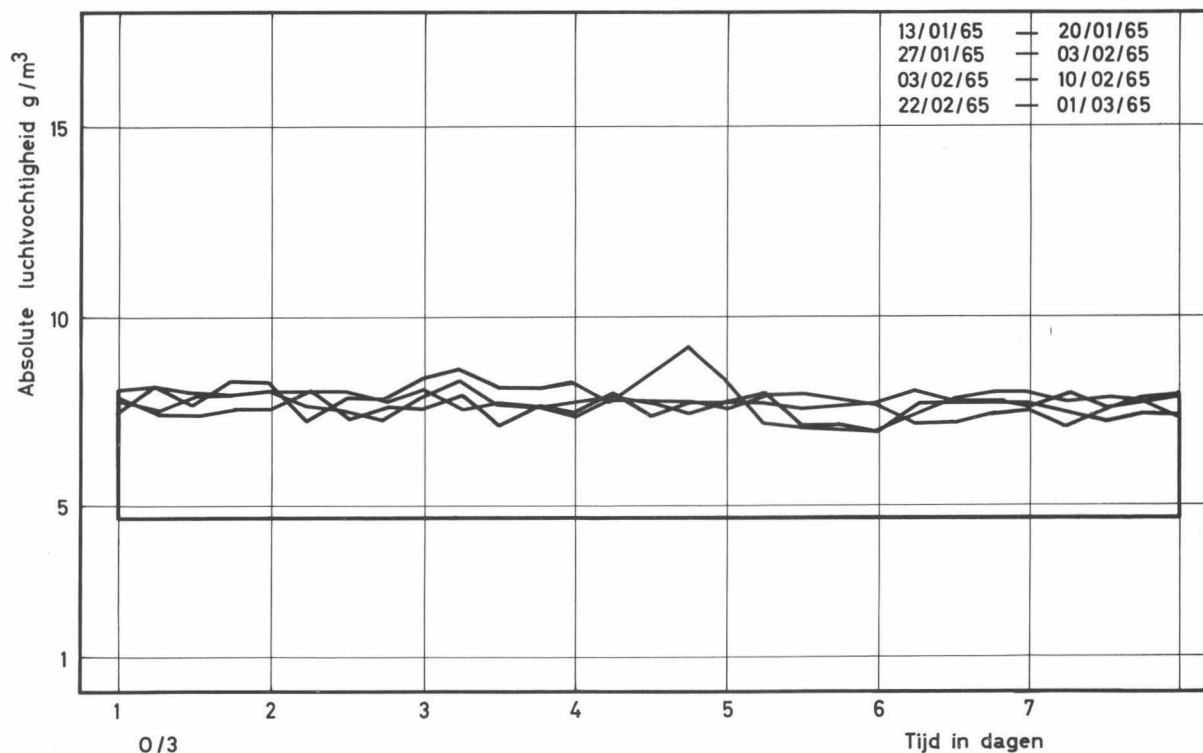
zonder bijverwarming. Een voorbeeld kan gevonden in batterijhokken met zeer dichte bezetting, goede isolatie en waar een regelmatige mestafvoer geschiedt, zodat een belangrijke hoeveelheid vocht wordt verwijderd, vooraleer het door de stallucht kan opgenomen worden.

4.2.2. Het verloop van de absolute vochtigheid van de lucht in een punt in functie van de tijd

Aan de hand van de thermohygrograafwaarnemingen wordt het ook mogelijk, het verloop van de absolute vochtigheid in een bepaald punt op te tekenen.

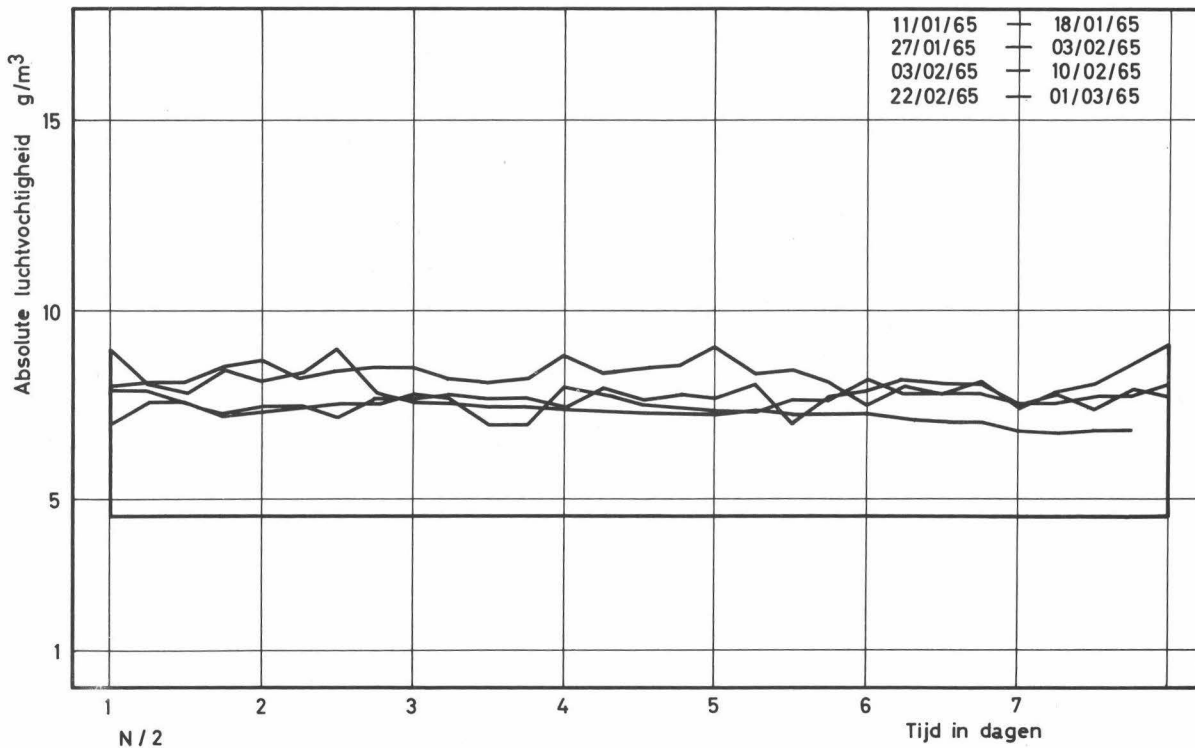
Het verloop van de absolute vochtigheid voor hok 0/3 wordt voorgesteld in figuur 116. De gemiddelde absolute vochtigheid in het buitenklimaat gedurende deze periode bedroeg $4,54 \text{ g/m}^3$ (uitersten $3,3$ en $5,8 \text{ g/m}^3$).

Het verloop van de absolute vochtigheid voor het verwarmde N/2-hok in dezelfde periode wordt weergegeven in figuur 117.



Verloop van de absolute vochtigheidsgraad van
de lucht voor hok 0/3

figuur 116



Verloop van de absolute vochtigheidsgraad van
de lucht voor het verwarmde hok N/2
figuur 117

De studie van deze gegevens toont aan dat in de absolute vochtigheid van de stallucht slechts geringe variaties optreden. De absolute vochtigheid, zowel voor het onverwarmde als voor het verwarmde hok, is gelegen tussen 7 en 9 g/m³.

Bij gebruik van de absolute vochtigheidsgraad als index zouden beide hokken dus als gelijkwaardig worden beoordeeld. Dit strookt echter niet met de werkelijkheid.

De absolute vochtigheidsgraad is dus geen geschikte norm voor de beoordeling van het stalklimaat, doch kan wel nuttig zijn voor de studie van bepaalde problemen in verband met de warmte- en vochthuishouding.

4.2.3. Besluiten

De R.V. is het best geschikt om als index voor de vochttoestand in het hok te worden gebruikt.

In een pluimveehok kan, zonder bijverwarming, de R.V. niet voldoende laag worden gehouden. Zelfs het verwezenlijken van een k -waarde $= 0,5 \text{ kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$ biedt nog geen afdoende oplossing (hfst. II). Uitzondering maken evenwel die hokken waar een belangrijk deel van het geproduceerde vocht langs een andere weg dan de ventilatie kan worden verwijderd.

Een sturing van de ventilatie gebaseerd op R.V. is onmogelijk omdat daardoor het gestelde doel (constante R.V.) niet kan worden bereikt. De bijverwarming kan echter wel geregeld op basis van de R.V. Dit kan automatisch geschieden of door aanpassing van de verwarming met de hand.

De kennis van de A.V. van de stallucht is noodzakelijk voor de berekening van de vochtbalans, doch blijft in gebreke bij het bestuderen van de problemen van condensatie op koude wanden, het uitdrogen van het bodemstrooisel e.a. De A.V. heeft wel nut bij de studie van warmte- en vochthuishouding van het dier.

4.3. STOF EN STALGASSEN

4.3.1. Stof

Wij mogen aannemen dat het stof in pluimveehokken in de eerste plaats afkomstig is van de dieren en verder uit het bodemstrooisel, het voeder en eventueel uit de buitenatmosfeer.

Ons onderzoek wees nochtans uit dat voornamelijk turfbodemstrooisel oorzaak kan zijn van sterke stofontwikkeling.

Bij een vergelijking van twee kleine groepen mestkuikens : een op turfbodemstrooisel, de andere op draadrooster, kon worden vastgesteld dat de stofontwikkeling uitgesproken groter was voor de dieren op bodestrooisel, zolang dit laatste in droge en rulle toestand bleef. Bij vochtig geworden strooisel is de toestand voor beide opstellingen ongeveer gelijk.

Voor de proef werd naast ieder van de diergroepen op een horizontaal vlak een dun blaadje kunststof gelegd met nauwkeurig gekende oppervlakte (100 cm^2) en gewicht. De stofdeeltjes die in contact kwamen met het proefoppervlak, bleven er dank zij een kleefstof aan hechten. De gewichtsvermeerdering van het blaadje na een week geeft een maat voor de stofontwikkeling.

Hierna volgen de cijfergegevens van de opgevangen hoeveelheden stof op een oppervlakte van 100 cm² per week voor elk van de diergroepen.

ouderdom van de mestkippen (tijdstip van de monstername)	stofontwikkeling bij de proefopstelling	
	met bodemstrooisel	op draadvloer
2e week	74,97 mg/100 cm ²	11,35 mg/100 cm ²
3e week	223,68	98,74
4e week	175,77	52,25
5e week	115,38	18,98
6e week	96,61	35,40
7e week	71,31	41,18
8e week	85,95	29,44

Stofontwikkeling van mestkuikens op bodemstrooisel en op draadvloer

tabel 12

Door microscopische analyse en uit de cijfers kon duidelijk worden afgeleid dat bij droog bodemstrooisel, turf de belangrijkste component van het stof was.

Bij de dieren op draad vormden de huidschilfertjes en de vederdeeltjes het overgrote aandeel.

Het voeder gaf weinig aanleiding tot stofontwikkeling.

Een verdere aanduiding van de rol van het bodemstrooisel op de stofontwikkeling werd gevonden door een stof-monstername gedurende 24 h voor beide groepen. Door middel van een Gelman Paper Tape Air Sampler werden op een speciale filtreerband monsters genomen. Tijdsduur en interval van de monstername zijn regelbaar. Uit de analyse van een registreerlint over de tijdsduur van 1 dag, kan een idee worden bekomen over de geproduceerde hoeveelheden op elk tijdstip. De vergelijking voor de onderlinge waarnemingen gebeurt op basis van verkleuring.

Bij de dieren op draad was de verkleuring grijsachtig met een gering verschil tussen dag- en nachturen.

Bij de dieren op droge turf was de verkleuring intens bruin gedurende de daguren. Gedurende de nacht, bij rust van de dieren, was de verkleuring minder intens.

De bruine verkleuring was duidelijk afkomstig van de turfdeeltjes.

In de klimaatkamers van Auburn Agricultural Experiment Station (LONGHOUSE, 1964), werd onderzoek doorgevoerd over stofontwikkeling in pluimveehokken en de oorsprong ervan. De voornaamste conclusies worden hieronder samengevat.

Microscopisch konden twee belangrijke types stofdeeltjes worden herkend : het ene is plat en vlokvormig, het werd geïdentificeerd als huidschilfertjes, het andere is lang en cilindervormig met knopen, het zijn deeltjes van veren.

De eerstgenoemde deeltjes variëren in grootte van 1 tot 450 micron. De cilindervormige stofdeeltjes hebben een gemiddelde diameter van 4 micron en een gemiddelde knooplengte van 115 micron.

Blijkens dit onderzoek werd weinig stof aangetroffen afkomstig van strooisel of voeder.

De omgevingstemperatuur heeft een uitgesproken effect op de stofontwikkeling van de dieren.

Zo bij witte Leghorn hennen kon worden genoteerd :

10°C	45 mg per dier en per dag
16°C	56
21°C	57,5
27°C	53,5
32°C	48,5
38°C	46

De stofontwikkeling bij mestkuikens varieert met de omgevingstemperatuur en de ouderdom van de dieren. Zij is het hoogst bij een temperatuur van 13°C en een ouderdom van 7 weken.

Conclusie van dit onderzoek was o.m. dat het houden van kippen op draad het stofprobleem niet uitschakelt.

Volgens DUBOIS (1963) is de stofontwikkeling grotendeels functie van de vochtigheidsgraad van het bodemstrooisel.

Dit strookt volledig met de resultaten uit ons verder onderzoek.

Mede voortgaande op de resultaten van DUBOIS geloven wij, dat de aard van het bodemstrooisel en zijn vochttoestand de belangrijkste factoren zijn die de stofontwikkeling in de hokken beïnvloeden.

Turf in droge toestand geeft bijzonder sterke stofontwikkeling. Houtschavelingen en zaagmeel geven eveneens aanleiding tot stof, stro veel minder.

Nochtans, gezien het vochtopnemend vermogen van turf en houtschavelingen vrij hoog is, wordt toch zeer dikwijls voorkeur gegeven aan deze producten als bodemstrooisel boven andere.

Het is dan ook raadzaam het vochtgehalte niet te laten dalen onder 30 % (wet basis). In de zomer kan het zelfs wenselijk zijn het strooisel te bevochtigen; in de winter zal het voldoende zijn minder verwarming te voorzien indien het strooisel te droog zou worden.

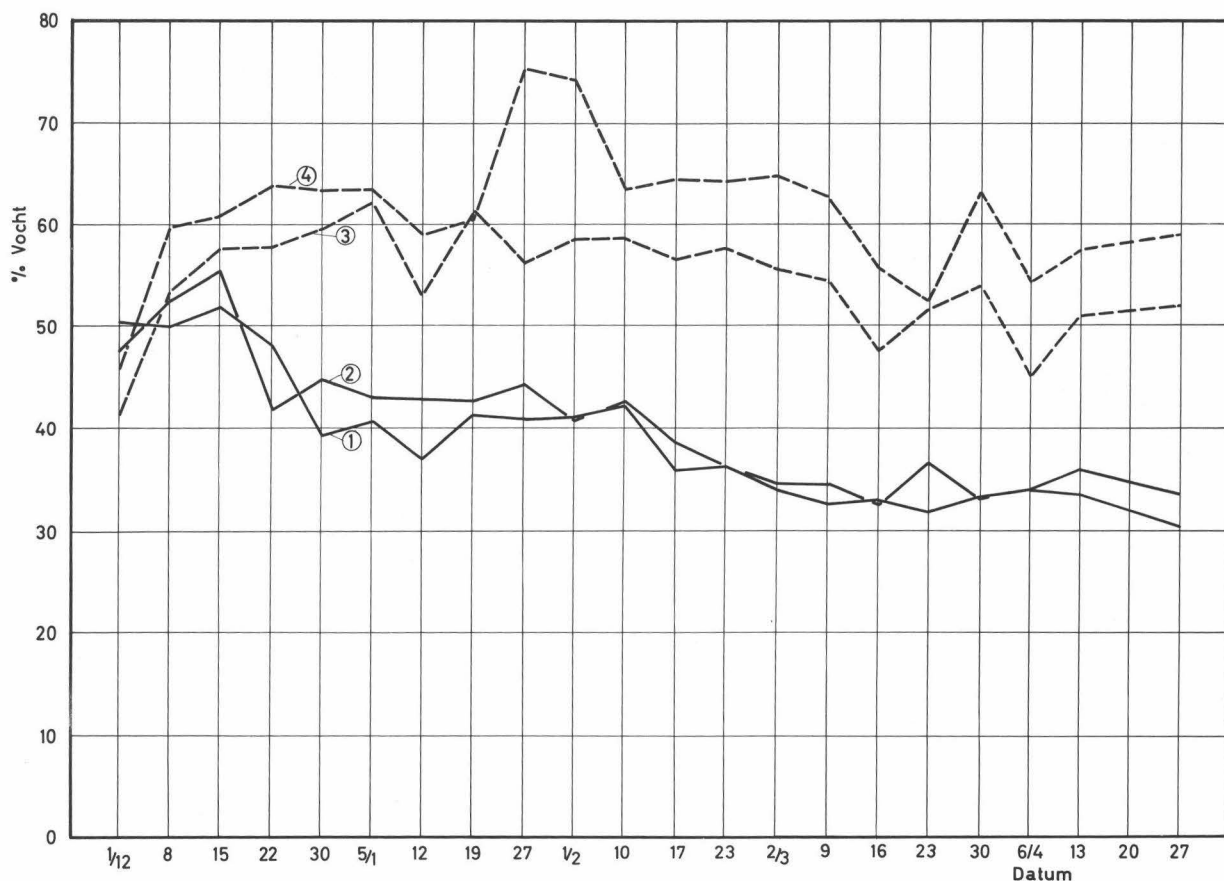
In de onderzochte O-hokken werd gedurende de proefperiode slechts een geringe stofontwikkeling vastgesteld, terwijl de stofproductie in de verwarmde N-hokken aanzienlijker was (vochtgehalte strooisel $< 30\%$).

De oplossing van dit probleem bestaat er dus in het klimaat zodanig te beheersen dat het strooisel voldoende droog blijft en toch weinig stofvorming optreedt.

Door een nauwkeurige dosering van de bijverwarming, zoals dit bij elektrische vloerverwarming mogelijk is, kunnen zeer gunstige resultaten worden bereikt.

In een leghennenhok werden 4 afdelingen, elk met 100 leghennen in proef genomen. Het warmtetekort voor het harmoniëren van warmte- en vochtbalans werd door middel van elektrische vloerverwarming gedoseerd in de afdelingen 1 en 2. Voor de afdelingen 3 en 4 was geen verwarming voorzien.

Het resultaat van meer dan 5 maand onderzoek wordt weergegeven op figuur 118.



Verloop van het vochtgehalte van het bodemstrooisel voor
4 proefafdelingen (1 en 2 elektrische vloerverwarming)

figuur 118

In de verwarmde afdelingen bleef het strooisel in uitstekende conditie zonder dat een belangrijke stofontwikkeling werd vastgesteld.

Het nomogram van hoofdstuk II kan hier ongetwijfeld zeer goede diensten bewijzen voor het berekenen van het calorietekort en het te installeren vermogen.

4.3.2. Stalgassen

In 7 hokken werd wekelijks het gasgehalte in de lucht bepaald onder vergelijkbare voorwaarden.

De kwantitatieve analyse wordt gedaan met behulp van geëigende reagentia gebonden op silicagel. Dit materiaal wordt opgesloten in fijne buisjes die beiderzijds luchtdicht toegesmolten zijn en alleen worden geopend op het ogenblik dat de metingen worden verricht. Door middel

van een speciaal geconstrueerde luchtpomp wordt, naargelang de concentratie van het aanwezige stalgas, nauwkeurig 100, 200, 300 cc of meer stallucht door het meetbuisje gezogen.

Het gebruikte apparaat is de Kitagawa Gas Detector. Ook de reagentia worden door dezelfde firma geleverd.

Bij afwezigheid van stalgassen met interfererende werking op het reagens, geeft de lengte van de verkleuring een maat voor de concentratie. De aflezingen gebeuren op door de fabriek vervaardigde ijkingschalen, waarop ook een temperatuurcorrectie is voorzien.

De reproduceerbaarheid van verschillende metingen bij eenzelfde omstandigheid is zeer goed gebleken.

Een overzicht van de resultaten wordt in tabel 13 gegeven.

Blijkens de vroeger aangehaalde maximaal toelaatbare concentraties, was bij geen van de metingen een schadelijk gehalte aanwezig.

Deze bepalingen zijn evenwel momentopnamen, wat betekent dat het zeer goed mogelijk is, dat op andere tijdstippen van de dag of nacht ietwat grotere concentraties kunnen worden waargenomen, afhankelijk van de ventilatiegraad op elk tijdstip.

Nochtans blijkt uit verder onderzoek dat de ventilatie reeds enkele uren mag onderbroken zijn, vooraleer de gehalten onmiddellijk schadelijke waarden bereiken.

In de O-hokken is de vochtbalans niet in evenwicht, zoals uit de toestand van het strooisel kan worden afgeleid en de R.V.-registraties dit bevestigen, zodat gemiddeld hogere hoeveelheden NH_3 en CO_2 kunnen worden verwacht.

De hogere NH_3 -gehalten in N/7, gedurende de laatste 6 weken van de proefperiode, kunnen worden verklaard door het feit dat het vochtgehalte van het strooisel belangrijk gestegen was (fig. 97) waardoor de bacteriële activiteit werd gestimuleerd.

De uitdroging voor N/7 gebeurt door luchtverwarming van boven uit, terwijl de onderliggende laag vochtiger blijft. De bodemverwarming in hok N/2 daarentegen houdt het strooisel over de gehele dikte uniform droog.

1. Ammoniak : NH_3

hoktype	19 nov	25 nov	2 dec	9 dec	16 dec	28 dec	4 jan	13 jan	20 jan	27 jan	3 feb	10 feb	17 feb	24 feb	7 maart
0/3	0	0	20	0	5	10	8	0	0	10	16	10	10	8	10
0/4	0	4	10	8	5	10	12	8	0	0	15	12	0	8	15
0/5	0	6	10	2	4	8	0	0	10	10	8	4	5	2	10
0/6	0	5	20	2	4	8	12	4	16	15	20	5	10	12	15
0/7	0	8	15	0	4	8	6	6	13	20	8	10	10	20	15
N/2	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
N/7	0	0	0	0	5	0	0	0	0	20	15	15	15	15	0

2. Koolzuurgas : CO_2

0/3	300			300	600	1200	380	300	800	1500	700	450	400	480	500
0/4	300			400	700	1000	700	500	300	400	600	500	400	400	500
0/5	500			400	600	1000	400	350	400	1000	500	350	400	450	700
0/6	400			350	700	1000	800	500	600	800	700	380	400	350	200
0/7	300			400	600	500	500	450	400	1500	600	600	500	1000	600
N/2	200			250	500	-	350	-	-	550	500	500	450	470	470
N/7	-			400	500	500	-	-	-	520	500	600	520	500	300

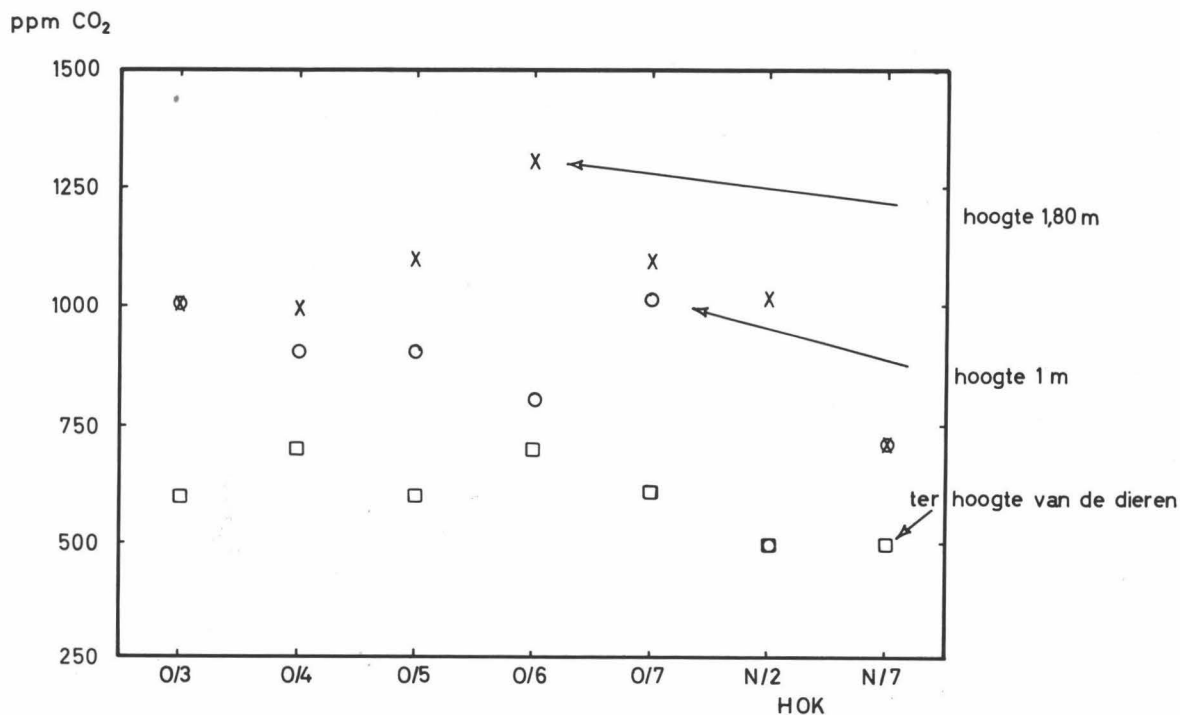
Stalgassen in de onderzochte hokken :
ammoniak- en koolzuurgehalte (ppm)

tabel 13

Bij normaal functionerende mechanische ventilatie kon tot nog toe in geen enkel geval een ogenblikkelijk schadelijke concentratie worden vastgesteld in pluimveehokken.

Toch dienen hier nog enkele merkwaardige verschijnselen onderlijnd die in de loop van het onderzoek aan het licht kwamen.

De concentratie van CO_2 op verschillende hoogten is anders dan uit het soortelijk gewicht ervan zou kunnen worden verondersteld (fig.119).



CO_2 -gehalte in de onderzochte hokken op verschillende hoogten

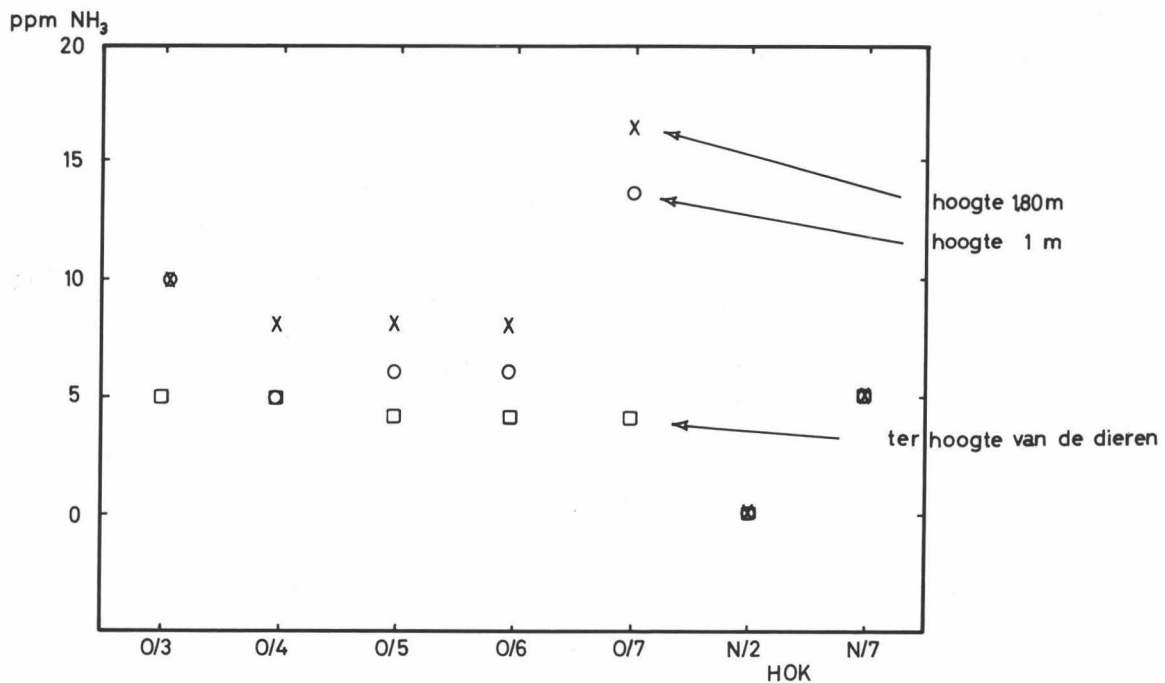
figuur 119

CO_2 heeft een s.g. dat aanzienlijk hoger is dan dat van de lucht. Het zou dan ook logisch zijn dat de hoogste concentratie voorkomt in de nabijheid van de dieren, zoals het trouwens algemeen wordt aangenomen. Het principe van vele ventilatiesystemen, met afzuiging tegen de stalvloer, werd door deze opvatting geïnspireerd.

In de menigvuldige metingen werd echter steeds een hoger gehalte aangetroffen op een hoogte van 1,8 m in het hok.

De aard van de optredende ventilatieluchtstromingen kan deze stratificatie beïnvloeden. In de hokken met kortsluitluchtstroming werkt de inductie de opwaartse warmtestuwing in de hand, waardoor stalgassen en vocht worden meegevoerd. In de hoofdluchtstroom zelf (halfstraal) is de concentratie door de aanwezigheid van verse lucht ongetwijfeld geringer. In de hokken met gerichte luchtstroom bestaat de bovenzone uit secundaire lucht die uiteraard meer verontreinigd is.

Ook het NH_3 -gehalte is belangrijker op een hoogte van 1,80 m dan in de nabijheid van de dieren. Het geringe s.g. van NH_3 leidt a fortiori tot de besproken schifting (fig. 120).



NH_3 -gehalte in de onderzochte hokken
op verschillende hoogten

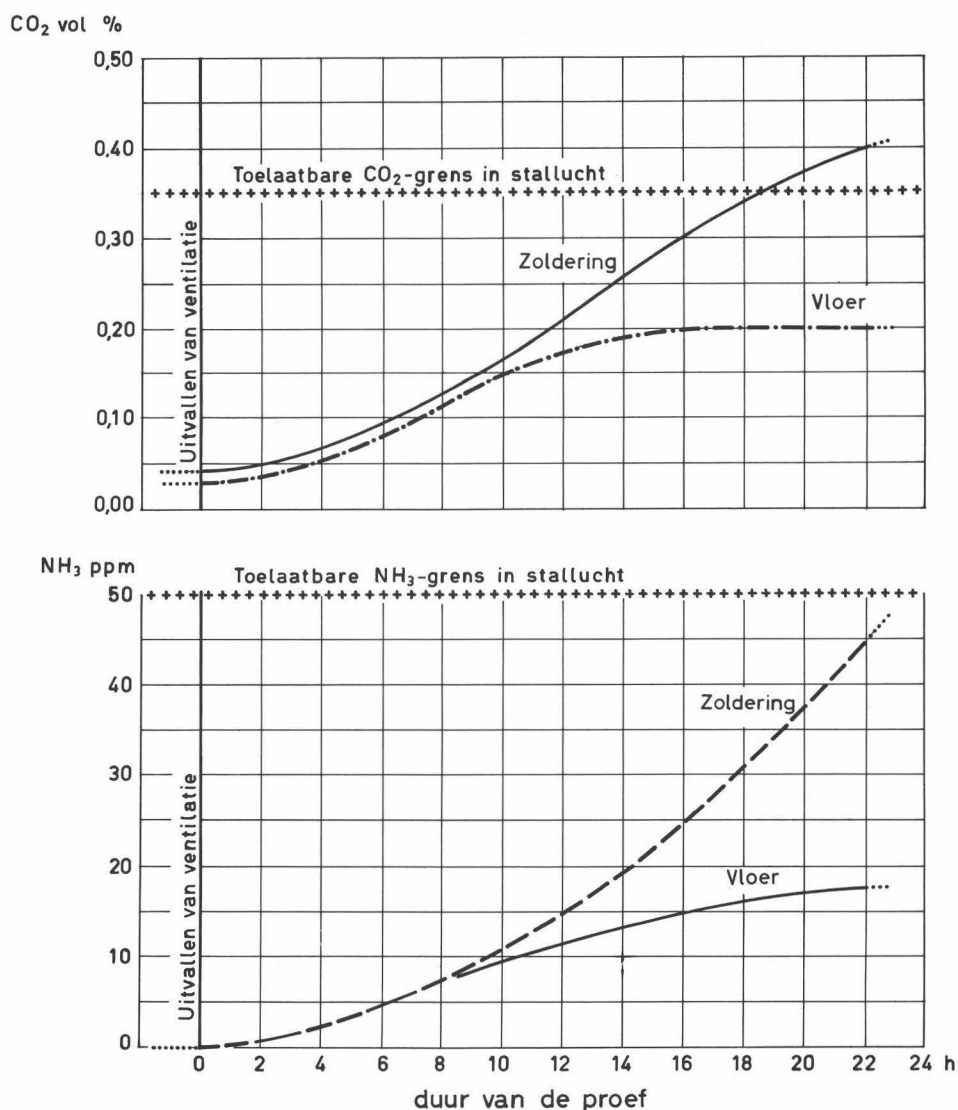
figuur 120

Uitzondering op deze vaststellingen vormen de verwarmde hokken die door een aanzienlijk hogere ventilatie en een betere luchtmenging gekenmerkt zijn. Voor beide hokken kon ook worden vastgesteld dat de gemeten waarden op verschillende hoogten weinig uiteenliepen.

Met het doel na te gaan hoe snel de concentratie van stalgassen oploopt bij uitvallen van de mechanische ventilatie, werd deze in een kleine vensterloze proefstal (5 dieren/m²) gedurende meerdere uren onderbroken. Slechts geringe natuurlijke ventilatie kon door de bestaande openingen optreden (kleine trekhoogte, laag temperatuurverschil tussen stal- en buitentemperatuur).

Om de twee uur werd het CO₂- en NH₃-gehalte gemeten op de hoogte van de dieren en onder de zoldering.

Het verloop van de stalgassenconcentratie werd opgetekend op figuur 121.



Toename van de stalgassenconcentratie
bij uitvallen van de mechanische ventilatie

figuur 121

Zowel voor CO_2 als voor NH_3 worden de hoogste waarden genoteerd onmiddellijk onder de zoldering. Hier is de oorzaak te zoeken bij de opwaartse convectiestromingen veroorzaakt door de dieren.

Deze vaststelling over het oplopen van de stalgassenconcentratie bij ventilatieonderbrekingen zijn van groot belang voor dichtbezette vensterloze hokken.

Langdurige onderbrekingen in de elektrische stroom zouden, zoals hieruit blijkt, een werkelijk gevaar kunnen betekenen. Het is dan ook wenselijk, zoniet noodzakelijk, een veiligheidssysteem te voorzien, dat automatisch in werking treedt bij uitvallen van de elektrische stroom.

H_2S kon tot nog toe niet worden vastgesteld in pluimveehokken.

Het CO_2 is afkomstig uit de ademlucht van de dieren maar gedeeltelijk ook van de ontbinding in mest en bodemstrooisel.

NH_3 is afkomstig uit de mest, hoofdzakelijk door bacteriële activiteit.

Door analyse van de lucht in de holten tussen het materiaal kon dit worden aangetoond (tabel 14).

meetplaats	ppm CO_2	ppm NH_3	ppm H_2S
in buitenklimaat	300	0	0
tussen turf (ongebruikt)	300 - 350	0	0
tussen excreta van kippen	1200	60	0
tussen droog bodemstrooisel : turf, houtschavelingen, mest	750	20	0
tussen halfvochtig bodemstrooisel	900	22	0
tussen nat bodemstrooisel	1000 - 2000	50 - 60	0

Bepaling van stalgassenconcentratie in de
luchtholten tussen bodemstrooisel en mest

tabel 14

4.3.3. Besluiten

Het stof in pluimveehokken is vooral afkomstig uit het bodemstrooisel. Het probleem van stofontwikkeling in pluimveehokken wordt ernstig, wanneer het vochtgehalte van het strooisel lager is dan 30 %. Gedurende de winterperiode is dit normaal slechts het geval in de hokken met bijverwarming. Door de regeling van de bijverwarming voortgaande op de toestand van het strooisel, of door het nastreven van een R.V. van de stallucht die aanleiding geeft tot een vochtgehalte van het strooisel tussen 30 en 40 %, kan de stofvorming tot een minimum worden herleid, terwijl de toestand van het strooisel nog volkomen strookt met de eisen voor het dierlijk comfort. De stofvorming afkomstig van de dieren zelf kan niet worden voorkomen.

In mechanisch geventileerde hokken, zijn de aangetroffen stalgassenconcentraties meestal niet onmiddellijk schadelijk. Hoe vochtiger het bodemstrooisel en dus hoe ongunstiger de vochtbalans, des te meer schadelijke gassen kunnen worden verwacht. In de niet verwarmde hokken is de concentratie aan CO_2 en NH_3 belangrijker op 1,8 m hoogte dan nabij de dieren. In de verwarmde hokken met intense ventilatie en luchtmening is het onderscheid tussen de stalgasgehalten in de verschillende zones gering. Bij het uitvallen van de ventilatie loopt de concentratie van stalgassen sterk op na enkele uren. De onderbrekingen dienen derhalve tot een minimum beperkt en zo kortstondig mogelijk te worden gehouden. Een veiligheidssysteem is noodzakelijk in dichtbezette hokken, als voorzorg bij stroomonderbrekingen.

S A M E N V A T T I N G

DE ACTUELE PROBLEMATIEK OMTRENT DE KLIMAATREGELING

VAN LEGHENNENHOKKEN

Het houden van legkippen in hokken met bodemstrooisel geeft aanleiding tot tal van problemen. Gedurende de winterperiode worden bij gebrekkige klimaatregeling belangrijke productieverliezen geleden. Bepaalde ziekten veroorzaken, bij gebrek aan hygiëne en klimaatregeling, belangrijke schade in de pluimveehouderij. Het opzetten van ééndagskui-kens (voor leg) is in niet geklimatiseerde gebouwen hoofdzakelijk beperkt tot maart-april.

Wij hebben gepoogd, aan de hand van literatuurgegevens, richtcijfers voor te stellen voor een geschikt winterklimaat. Essentieel voor het verwezenlijken van een optimaal klimaat gedurende de winter, is het evenwicht zowel van warmte- als van vochtbalans. Wegens de wanverhouding van af te voeren vocht en beschikbare warmte, is het bereiken van een gelijktijdig evenwicht voor beide balansen niet mogelijk zonder bijverwarming. Deze vaststelling beperkt zich evenwel tot ons klimaatsgebied en voor de bovenvernoemde hoktypes, waar al het geproduceerde vocht door ventilatie hoeft verwijderd te worden. Uit een nomogram kan het warmtetekort voor verschillende omstandigheden worden afgelezen.

Om spaarzaam met de beschikbare warmte om te gaan, dient de berekende ventilatie zo efficiënt mogelijk te worden doorgevoerd. Ten einde het ventilatiepatroon te kunnen identificeren, werd een geschikte methodiek op punt gesteld. De oriënterende voorstudie kan geschieden aan de hand van onderzoek op kleinmodel. De eigenlijke studie van het ventilatiepatroon in de praktijkhokken wordt uitgevoerd met behulp van temperatuurmetingen in een dwarsdoorsnede. Zowel uit de daaruit resulterende isothermen, als uit de temperatuurprofielen zelf, kunnen aanwijzingen over de optredende luchtstromingen worden gewonnen. Luchtsnelheidsmetingen in de hok-doorsnede, kunnen in sommige gevallen het gevonden ventilatiepatroon bevestigen of aanvullen. Bij geringe luchtsnelheden is het moeilijk nauwkeurige waarden te bepalen, waardoor het uittekenen van isovellen praktisch onmogelijk wordt. Anderzijds is de isovellenmethode bij hogere L.S. en geringe temperatuurverschillen

tussen hok- en buitenatmosfeer een waardevolle methodiek voor de identificatie van het ventilatiepatroon. Door rooktesten kunnen hoofd- en nevenluchtstromingen in hokken zichtbaar gemaakt worden.

Bij kortsluitluchtstroming geschiedt de luchtverversing in de verblijfszone slechts onrechtstreeks; het rendement van de ventilatie is derhalve gering en het comfort voor de dieren wordt niet doelmatig verwezenlijkt. Het ventilatiepatroon is bovendien, naargelang de omstandigheden, aan sterke wijzigingen onderhevig (invloed zwaartekracht, wind).

Het is ongetwijfeld nuttig een geschikt en steeds gelijkblijvend ventilatiepatroon te behouden, zodat de bevoorrading van de dieren met verse lucht op ieder ogenblik verzekerd is.

Een van de mogelijkheden daartoe werd aan een kritische studie onderworpen. De binnenkomende ventilatieluchtstraal wordt door middel van een luchtstroomrichter direct naar de verblijfszone gebracht. Wegens het gevaar voor tocht, dient de luchtstraal gespreid zodat de luchtsnelheid daalt en de temperatuur stijgt. Een geperforeerde aluminiumplaat schuin voor de inlaatgleuf aangebracht is een probaat middel gebleken. Een traploze ventilatieregeling is bij deze methode evenwel wenselijk indien niet noodzakelijk. De bijverwarming wordt voorzien in het eerste gedeelte van de hoofdluchtstroom : warmwaterbuizen tegen zijwand of in de betonvloer.

Alhoewel de luchtinlaatopeningen van het allergrootste belang zijn voor het welslagen van de klimaatregeling, dient ook nog aandacht besteed aan de gelijkmatigheid van de luchtafvoer. Wij hebben getracht de voorwaarden te onderzoeken en te formuleren, die een afdoende oplossing waarborgen. De keuze van de afstand tussen de ventilatoren of het gebruik van een ventilatiekanaal met welbepaalde karakteristieken zijn essentiële hulpmiddelen.

De voorgestelde oplossing is vanzelfsprekend niet exclusief en betekent evenmin een veroordeling van andere oplossingen die aan de gestelde voorwaarden zouden beantwoorden.

Tussen het ventilatie- en het evaporatiepatroon bestaat een duidelijk verband, zodat de ventilatieinrichting moet aangepast zijn aan de hokinrichting.

Toepassing van deze stellingen liet toe uiterst bevredigende resultaten te bereiken (N/2 en N/7).

Thermograafwaarnemingen verschaffen geen betrouwbare inlichtingen over het bereikte thermisch comfort, doch geven wel enige aanwijzing over de toestand van de warmtebalans en de doeltreffendheid van de ventilatieregelapparatuur. De relatieve luchtvochtigheid is de meest bruikbare index bij de beschrijving van de vochttoestand van een hok.

De stalgassenconcentraties hangen hoofdzakelijk af van het vochtgehalte van het strooisel en van de efficiëntie van de ventilatie. In de onderzochte mechanisch geventileerde hokken, werden geen ontoelaatbare concentraties aangetroffen. Bij langdurige ventilatieonderbreking (meerdere uren), wordt het gevaar voor vergiftiging en verstikking echter reëel.

Het stof was in de onderzochte hokken voornamelijk afkomstig uit het bodemstrooisel. Gezien de gevaren daaraan verbonden, zal men trachten de vochttoestand van het strooisel zodanig te begrenzen, dat een minimale stofontwikkeling optreedt.

R E S U M E

PROBLEMES ACTUELS CONCERNANT LA
CLIMATISATION DANS LES POULAILLERS

L'élevage de poules pondeuses dans des poulaillers avec litière suscite pas mal de problèmes. Une climatisation défectueuse durant la période hivernale entraîne d'importantes pertes pour la production. Par manque de soins et de climatisation, certaines maladies provoquent d'importants dégâts dans l'élevage de la volaille. Dans des poulaillers non climatisés, l'élevage de poussins d'un jour (pour la ponte) se limite principalement aux mois de mars et avril.

D'après des données littéraires nous avons essayé d'élaborer des lignes directives pour un climat adéquat dans les poulaillers pour poules pondeuses. L'équilibre tant du bilan thermique que du bilan d'humidité est d'importance primordiale pour la réalisation d'un climat optimal durant la période hivernale. A cause de la disproportion entre l'humidité à éliminer et la chaleur disponible, il est impossible d'obtenir en même temps un équilibre pour les deux bilans sans chauffage supplémentaire. Cette stipulation se limite toutefois à notre climat et aux types de poulaillers précités où toute l'humidité produite doit être éliminée par ventilation. Sur un nomogramme on peut lire le déficit de chaleur dans différentes conditions.

Pour économiser la chaleur disponible, la ventilation calculée devra être appliquée le plus rigoureusement possible. Une méthode convenable a été mise au point pour l'identification du patron de la ventilation. La recherche sur maquette peut servir de base à l'étude préparatoire.

Dans la pratique l'étude proprement dite du patron de la ventilation dans les poulaillers se fait à l'aide des mesures de températures d'une section transversale. Aussi bien les isothermes résultant de ses mesures que les profils de températures eux-mêmes, peuvent donner des indications sur les courants d'aération naissants. Des mesures de la vitesse de l'air dans une section du poulailler peuvent dans certains cas confirmer ou compléter le patron de la ventilation trouvé. Pour des faibles vitesses de l'air il est difficile d'obtenir des mesures précises, ce qui rend le tracé des lignes de même vitesse de l'air pratiquement impossible. D'autre part pour des vitesses de l'air plus élevées

et des faibles écarts de température entre l'air du poulailler et l'air extérieur, la méthode des lignes de même vitesse de l'air est une méthode idéale pour la détermination du patron de la ventilation. Dans les poulaillers les épreuves de fumée peuvent identifier les courants d'aération primaires et secondaires.

Dans les cas d'un courant d'aération court-circuité, le renouvellement de l'air dans la zone de parcours ne se fait qu'indirectement; le rendement de la ventilation est donc réduit et le bien-être des animaux est insuffisant.

Le patron de la ventilation est en outre soumis à des fortes modifications, suivant les circonstances (influence de la force de gravité, du vent).

Sans aucun doute il est nécessaire de maintenir un patron de la ventilation adéquat et toujours stationnaire, de sorte que la réserve d'air frais pour les animaux soit à tout moment assurée. A cette effet une des possibilités a été soumise à une étude détaillée. Le filet d'air entrant est immédiatement dirigé vers la zone de parcours. A cause du danger de courant d'air, le filet d'air est étalé de sorte que la vitesse de l'air diminue et la température augmente. Une plaque d'aluminium perforée placée obliquement devant l'ouverture de l'entrée d'air semble avoir été une solution efficace. Avec cette méthode il est toutefois souhaitable, sinon nécessaire d'avoir une ventilation réglable de façon continue. Le chauffage supplémentaire est prévu dans la première partie du courant d'aération principal : canalisations d'eau chaude contre les parois latérales ou dans le pavement.

Bien que les ouvertures pour l'entrée d'air soient de la plus grande importance pour la réussite de la climatisation, il faut également attirer l'attention sur l'uniformité de l'évacuation de l'air. Nous avons essayé d'examiner et de formuler les conditions qui puissent garantir une solution convenable. Le choix de la distance entre les ventilateurs ou l'emploi d'un canal de ventilation avec des caractéristiques bien déterminées sont des ressources essentielles.

La solution proposée n'est évidemment pas exclusive et ne condamne pas pour autant les autres solutions qui répondraient aux conditions exigées.

Il existe une nette relation entre le patron de la ventilation et celui de l'évaporation; l'installation de la ventilation devra donc être adaptée à l'installation du poulailler.

L'application de ces théories nous a permis d'obtenir des résultats très encourageants (N/2 et N/7).

Les relevés sur thermographes ne fournissent pas des renseignements formels sur le confort thermique acquis mais donnent cependant quelques indications sur la valeur du bilan thermique et l'efficacité de la régulation de la ventilation. L'humidité relative de l'air est l'index le plus employé pour la détermination du degré d'humidité du poulailler.

Les teneurs en gaz des poulaillers dépendent principalement de l'humidité de la litière et de l'efficacité de la ventilation. L'étude des poulaillers ventilés mécaniquement n'a révélé aucune concentration dangereuse. Une longue interruption de la ventilation (plusieurs heures) peut constituer un réel danger d'empoisonnement et d'asphyxie.

Dans les poulaillers étudiés les poussières provenaient essentiellement de la litière. Etant donné les dangers qui peuvent en découler, on essayera de limiter l'humidité de la litière de façon à obtenir un faible développement de poussières.

S U M M A R Y

CURRENT PROBLEMS CONCERNING CLIMATISATION

IN HOUSES FOR LAYING HENS

Keeping laying hens in houses with litter gives rise to a serious number of problems. During winter-time the losses in production can be very important, in the case climatization is insufficient. Some diseases cause important losses in the poultry husbandry for lack of hygienic conditions and sufficient climatization. Starting with one day old chickens (for laying purposes) is principally restricted to the months March - April in poultry houses without climatization.

From literature survey we tried to determine norm-figures for a good winter climate in poultry houses for layers. Essential for the realization of an optimal climate during the winter is an equilibrium for heat-balance as well as for humidity balance. For reason of the disproportion of produced humidity and available heat, it is impossible to attain a simultaneous equilibrium for both balances without supplementary heating. This establishment is however limited to our climate zone and to the housing types mentioned above, where all produced humidity has to be evacuated by ventilation. From a nomograph we can deduce the heat deficiency for different circumstances.

In order to use the available heat in an economical way, it is necessary to install the calculated ventilation as efficient as possible. With the purpose to identify the ventilation pattern, an adequate method has been established. To orientate the study, research on models took place. The proper determination of the ventilation pattern in poultry houses is done by means of temperature measurements in a cross section.

Indications concerning the air currents are gathered with the help of the resulting isotherms as well as with the help of the temperature profiles. In some cases, measurements of the air speed in the cross section of the poultry house can confirm or complete the established ventilation pattern. In the case of low speeds it is difficult to determine exact figures and so design of the lines with equal air speed (isovels) becomes practically impossible. On the other side, with high

air speeds and little difference in temperature between in- and outside atmosphere, this method has great value for the identification of the ventilation pattern. Smoke tests can make the principal - and secondary air currents visible in poultry houses.

In the case of a short-circuit air stream, ventilation in the living zone is only indirect; consequently the efficiency is low and the comfort of the animals is not sufficiently achieved. The more, the ventilation pattern is, depending on the circumstances, subject to heavy fluctuations (influence gravitation, wind).

Undoubtedly it is useful to obtain a constant ventilation pattern, assuring that the animals are provisioned with fresh air at every moment.

One of the possibilities to that end, has been subjected to a critical study. The entering ventilation air current is brought directly to the living zone by means of an air current deflector. To avoid draught, the air current is spread so that the air speed falls and the temperature rises. A perforated aluminium plate, fixed obliquely to the inlet, is a good method. However with this system a ventilation with a gradual regulation is desirable, if not necessary. The supplementary heating is foreseen in the first part of the primary air current: warm water tubes against the side wall or in the concrete floor.

Although the inlets are of the greatest importance for the success of the climatisation, attention must also be paid to the uniformity of the air outlet. We made an attempt to study and to formulate the conditions which guarantee a sufficient solution. The choice of the distance between the ventilators or the use of a ventilation duct with well determined characteristics are essential appliances.

The method described is certainly not exclusive and also does not mean that other methods, meeting the requirements, are condemned.

There is a clear relation between the ventilation and the evaporation pattern, so that the ventilation system must be adapted to the housing system.

Application of this thesis, lead to very sufficient solutions (N/2 and N/7).

Observations with thermograph do not give reliable informations about the achieved thermal comfort, only some indication about the situation of the heat balance and the efficiency of the ventilation regulation apparatus. The relative humidity of the air is the most useful index for the description of the humidity aspect of the house.

The concentration of gases in the building depends mainly on the humidity content of the litter and on the efficiency of the ventilation. In the houses with mechanical ventilation, which were studied, no inadmissible concentrations were found. Danger for intoxication and asphyxiation become real when ventilation is interrupted for several hours.

The dust in the houses investigated, comes mostly from the litter. To avoid the danger in consequence of this dust, attempts will be made to limit the humidity of the litter resulting in a minimum production of dust.

Z U S A M M E N F A S S U N G

DIE AKTUELLE PROBLEMATIK BEI DER KLIMATISIERUNG VON LEGEHUEHNERSTAELLEN

Die Hühnerhaltung in Ställen mit Bodeneinstreu gibt zu vielen Problemen Anlass. Während der Winterperiode treten durch mangelhafte Klimaregelung grosse Produktionsverluste ein. Bestimmte Krankheiten verursachen, aus Mangel an Hygiene und Klimatisierung, sehr grossen Schaden in der Geflügelzucht. Der Anfang der Zucht von Eintagsküken (Zweck Legeleistung) ist in den nicht klimatisierten Ställen hauptsächlich auf März - April beschränkt.

Wir haben versucht Richtziffern anhand von Literaturangaben, für ein geeignetes Klima in Legehühnerställen aufzustellen. Wesentlich für die Verwirklichung eines optimalen Winterklimas ist das Erreichen eines gleichzeitigen Gleichgewichtes sowohl von Wärme- als auch von Feuchtigkeitsbilanz. Wegen des Missverhältnisses in der abzuführen Feuchte und in der verfügbaren Wärme ist ein gleichzeitiges Gleichgewicht für beide Bilanzen ohne zusätzliche Heizung nicht möglich. Diese Feststellung beschränkt sich dennoch auf unser Klimagebiet und die obengenannten Stalltypen, wo die insgesamt produzierte Feuchtigkeit durch Lüftung entfernt werden soll. Aus einem Nomogramm kann das Wärmedefizit für verschiedene Umstände abgelesen werden.

Mit dem Ziel, sparsam mit der verfügbaren Wärme umzugehen, soll die vorgesehene Lüftung so zweckmässig wie möglich durchgeführt werden. Für die Identifizierung des Luftströmungsbildes wurde eine geeignete Methodik gesucht. Das orientierende Vorstudium kann anhand von Untersuchungen an einem Kleinmodell geschehen. Das eigentliche Studium der Lüftungspatrone in Ställen wird in der Praxis mit Hilfe von Temperaturmessungen in einem Querschnitt durchgeführt. Sowohl aus den daraus resultierenden Isothermen sowie aus den Temperaturprofilen selbst, können Andeutungen gewonnen werden über die auftretenden Luftströmungen. Messungen über Luftgeschwindigkeit in einem Querschnitt des Stalles, können in einigen Fällen die gefundenen Luftbewegungspatronen bestätigen und vervollständigen. Bei geringen Geschwindigkeiten ist es schwierig genaue Werte zu messen, sodass es praktisch unmöglich wird, Linien

gleicher Luftgeschwindigkeit zu zeichnen. Andererseits stellt diese Methode (Linien mit gleicher Luftgeschwindigkeit) bei höherer Luftgeschwindigkeit und kleinerem Temperaturunterschied zwischen Stall und Aussenatmosphäre eine wertvolle Methodik für die Identifizierung der Luftbewegungspatrone dar. Durch Rauchtaste können Haupt- und Sekundärluftströmungen auch sichtbar gemacht werden.

Bei Kurzschlussluftströmung geschieht die Lüftererneuerung in der Aufenthaltszone nur indirekt; die Erneuerung ist deshalb gering und der Komfort für die Tiere wird unzweckmässig verwirklicht. Die Luftbewegungspatrone ist zudem, je nach den Umständen, starken Änderungen unterworfen (Einfluss Gravitationskräfte, Wind).

Es ist zweifellos nützlich, eine passende und gleichbleibende Luftbewegungspatrone beizubehalten, so dass die Frischluftbevorratung für die Tiere in jedem Augenblick gesichert ist.

Eine der Möglichkeiten dazu wurde einem kritischen Studium unterworfen. Der eintretende Ventilationsluftstrahl wird mittels eines Luftstromrichters direkt nach der Aufenthaltszone gebracht. Wegen der Gefahr für Luftzug, soll der Strahl zerstreut werden, so dass die Luftgeschwindigkeit tiefer wird und die Temperatur steigt. Eine perforierte Platte schräg für den Eintrittsschlitz angebracht hat sich als ein probates Mittel erwiesen. Eine treppenlose Lüftungsregelung ist für diese Lüftungsart jedoch wünschenswert, wenn nicht notwendig. Die zusätzliche Heizung wird vorgesehen beim Anfang der Hauptluftströmung : z.B. Heizwasserröhre gegen Aussenwände oder in Betonfussboden.

Obwohl die Lufteintrittsöffnungen für den Erfolg der Klimaregelung von grösster Wichtigkeit sind, soll auch der Gleichmässigkeit der Luftabfuhr Aufmerksamkeit gewidmet werden. Wir haben versucht die Voraussetzungen zu überprüfen und zu formulieren, welche eine entscheidende Lösung gewährleisten. Die Wahl der Abstände zwischen den Ventilatoren oder der Gebrauch eines Lüftungskanals mit wohlbestimmten Charakteristiken sind wesentliche Hilfsmittel.

Die vorgeschlagene Lösung ist selbstverständlich nicht exklusiv und bedeutet auch keine Verurteilung anderer Systeme, welche den vorausgesetzten Bedingungen entsprechen.

Zwischen Lüftungs- und Evaporationspatrone gibt es eine augenfällige Beziehung; so soll die Entlüftungsanlage der Stalleinteilung und Einrichtung angepasst werden.

Die Anwendung dieser Grundsätze ergab äusserst befriedigende Resultate (N/2 und N/7). Thermographische Messungen verschaffen keine zuverlässigen Unterlagen über den erreichten thermischen Komfort, geben jedoch einige Andeutung über den Zustand der Wärmebilanz und über die Zweckmässigkeit der Ventilationsregeltechnik. Die relative Luftfeuchtigkeit ist der zuverlässigste Index für den Feuchtigkeitszustand eines Stalles.

Die Konzentration für die verschiedenen Stallgase hängt hauptsächlich zusammen mit dem Feuchtigkeitszustand der Bodeneinstreu und mit der Zweckmässigkeit der Lüftung. In den untersuchten mechanisch gelüfteten Ställen wurden keine unzulässige Gasegehalte gemessen. Bei langen Lüftungsunterbrechungen (mehrere Stunden) wird die Gefahr für Vergiftung und für Erstickung akut.

Die Staubentwicklung war in den untersuchten Ställen hauptsächlich durch die Einstreu verursacht. Wegen der damit zusammenhängenden Gefahren, wird man versuchen, den Feuchtigkeitszustand der Einstreu so zu beschränken, dass eine minimale Staubentwicklung auftritt.

B I B L I O G R A F I E

- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, Ventilating and
and Air Conditioning Engineers)
1964 Environmental control for animals and plants. Guide
and data book. Chapter 31, 353 - 380.
- BARRE H.J. and SAMMET L.L.
1950 Farm structures. John Wiley & sons, Inc. New York;
Chapman & Hall, Ltd., London.
- BATURIN W.W.; deutsche Bearbeitung: Göhler W.
1959 Lüftungsanlagen für Industriebauten. Berlin. 2 Auflage.
- BOND T.E. and KELLY C.F.
1955 The globe thermometer in agricultural research. Agri-
cultural engineering. 251 - 255.
- BORCHERT K.L.
1961 Ueber Grundlagen zur Schaffung eines optimalen Klimas
in Hühnerställen. Archiv für Geflügelkunde. XXV Jahr-
gang, Heft 1, 60 - 75.
- BRADTKE F.
1951 Katathermometrische Feststellung der mittleren Strah-
lungstemperatur der Umgebung. Gesundheits-Ingenieur.
Heft 1/2, 3 - 7.
- CARD L.E.
1961 Poultry production,
Lea and Febiger, Philadelphia.
- CENA M. und COURVOISIER P.
1949 Untersuchungen über die physikalischen Faktoren des
Stallklimas unter besonderer Berücksichtigung der
Abkühlungsgrösse. Schweizer Archiv für Tierheilkunde.
Band XCI, Heft 5, 11 - 24.
- COMBERG G.
1965 Anforderungen der Haustiere an das Stallklima.
ALB-Berichtsheft XXIV.
- DALE A.C. and LONG JACK (overgenomen uit Borchert, 1961 en Esmay, 1964)
1958 The effect of controlled temperature in the production
of laying hens. Paper presented at winter ASAE meeting
Chicago, Illinois.
- DAVIES C.N.
1960 The scientific basis of the design of large poultry houses.
J.I.H.V.E. 125 - 135.
- DEBRUYCKERE M.
1964 De quelques facteurs pouvant influencer le calcul de la
ventilation. Rapports VIe Congrès International de Génie
Rural, Lausanne 21-27 sept. Tome II, 371 - 382.

- DE GRAVE A.
1957 Bouwfysica. Uitgeverij Sic, Brussel.
- DEVOS A.
1965 Reports of the third International Congress, World Veterinary Poultry Association, Paris, Sept. 6 - 8. 45 - 49.
- DIN 18910
1963 DIN 18910, Blatt 1, Klima im geschlossenen Stall; Klima- und Wärmehaushalt im Winter.
- DUBOIS T.
1963 Vergelijkende studie van verschillende ventilatiesystemen in kippenhokken. Werk van einde studie. Rijksfaculteit der Landbouwwetenschappen te Gent.
- ESMAY MERLE L.
1964 Environmental control for poultry houses. Reports of the Vith International Congress of Agricultural Engineering, Lausanne 21 - 27 sept. Volume II, 394 - 405.
- HILL S.R.
1951 A consideration of the problems involved in ventilating the poultry laying house. Poultry sci. Vol. 30, 558 - 568.
- HILLIGER H.G.
1964 Der Tagesrhythmus von Temperatur und Feuchte der Luft eines Rinderstalles und seine Beziehungen zu diesen Werten bei der Aussenluft. ALB-Berichtsheft XXII. 9 - 18.
- HUESMANN K.
1965 Strömungsvorgänge bei Verteilkanälen mit einer perforierten Wand. Gesundheits-Ingenieur. Heft 12, 350 - 359.
- HUTSCHENREUTHER G.
1959-60 Das Klima im Hühnerintensivstall. Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar. 381 - 390.
- HY-LINE BELGIE
1966 Schriftelijke mededeling.
- JANOWSKI T.M.
1964 Tierhygienische Bedeutung und Beurteilung der Umweltfaktoren in der Geflügelzucht. Probleme der intensiven Geflügelwirtschaft. Schriftenreihe des Institutes für Geflügelwirtschaft Merbitz der VVB Tierzucht. Heft 4, 17 - 30.

- JANSSON I., HOLMQVIST N. en HENRIKSSON R.
1957 Isolering av golv och liggplatser i djurstallar. Statens Forskningsanstalt för Lantmannabyggnader, Lund
Zweden, Mededeling nr. 38.
- KATZ Ph.
1965 Beitrag zur experimentellen Untersuchung der Luftströmung in Ställen. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Landwirtschaftlichen Fakultät der Justus Liebig - Universität Giessen.
- KEPPENS L., DE GROOTE G.
1962 Resultaten van de nationale legtest 1960 - 1961. Landbouwtijdschrift. 15e jaargang, nr. 3, 381 - 394.
- KRUISSHOUTEM (GEMEENTE)
1966 Schriftelijke mededeling van het gemeentebestuur van Kruishoutem.
- LAAKSO HELMUT
1959 Be- und Entlüftung von Laboratorien in der chemischen Industrie. Gesundheits-Ingenieur. Heft 9, 253 - 270.
- LEHMEYER B. (overgenomen uit Hilliger, 1964)
1927 Untersuchungen über den Kohlensäure - und Wasserdampfgehalt der Stallluft. Z. Inf. Krkh. Haustiere 31; 36-57.
- LE ROY H.L.
1956 Fragen der Beleuchtung und Klimatisierung in der Hühnerzucht. Der Geflügelhof. nr. 15.
- LONGHOUSE A.D.
1964 Designing poultry house ventilation and insulation requirements based upon calorimetric data and psychrometric relationships. Reports of the VIth International Congress of Agricultural Engineering, Lausanne 21 - 27 sept. Volume II, 437 - 451.
- LONGHOUSE A.D. GARVER HARRY L.
1964 Poultry environments. American society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers journal. July, 68 - 74.
- LONGHOUSE A.D., OTA HAJIME and ASHBY WALLACE
1960 Heat and moisture design data for poultry housing. Agricultural Engineering. Vol. 41, 567 - 576.
- Mc ALLISTER J.S.V.
1966 Gases from dung under slats. Farmbuildings. Number 11, 23 - 24.
- Mc CABE L. (overgenomen uit Longhouse, Ota, Ashby, 1960)
1950 Air pollution Proceedings of the United States Technical Conference on Air Pollution. Washington DC.

- MISSENARD F.A.
1959 Le chauffage et le rafraichissement par rayonnement.
Editions Eyrolles, Paris (Ve).
- MITCHELL H.H., KELLEY M.A.R.
1933 Estimated data on the energy, gaseous and water metabolism of poultry for use in planning the ventilation of poultry houses. Journal of the agricultural research. Vol. 47 nr. 10, 735 - 748.
- NEUCKERMANS G. en DEBRUYCKERE M.
1966 Etude du comportement des poulets d'engraissement en fonction des systèmes de chauffage. C.I.G.R.-Seminar Lund.
- OTA HAJIME, GARVER H.L. and ASHBY WALLACE
1953 Heat and moisture production of laying hens. Agricultural engineering. Vol. 34, 163 - 167.
- OTA, WILSON and Mc NALLY
1957 Calorimeter studies on caged white Leghorn hens. USDA mimeogr., Rept., Beltsville, Md.
- OTTO und PECHERT
1963 Untersuchungen über Wärme- und Wasserdampfproduktion von Legehennen. Bayerisches landwirtschaftliches Jahrbuch. Heft 1/63, 25 - 71.
- PARKER BLAINE F.
1953 Nomographs and data for determining winter ventilating rates for poultry laying houses. Agricultural engineering. Vol. 34, 689 - 692.
- PATTIE D.R. and MILNE W.R.
1962 Ventilation air flow patterns by use of models. Winter meeting American Society of Agricultural Engineers, Chicago, Illinois, December 11 - 14. Paper nr. 62 - 930.
- PAYNE C.G.
1965 Practical aspects of environmental temperature for laying hens. Paper for the International Poultry Show Convention, Olympia, London.
- PETIT K.L. en DEBRUYCKERE M.
1962 Fundamentele gegevens aangaande het bioklimaat in stallen en hokken. Mededelingen van de landbouwhogeschool en de opzoekingsstations van de staat te Gent. Deel XXVII nr. 2.
- PETIT K.L. en DEBRUYCKERE M.
1965 Waterdampproductie en nuttige warmteafgifte in pluimveehokken. Mededelingen van de landbouwhogeschool en de opzoekingsstations van de staat te Gent. Deel XXX, nr. 2.

- PETIT K.L. en NICOLAUS A.
1965 Het microklimaat in stallen. De produktie van voelbare warmte. Mededelingen van de landbouwhogeschool en de opzoekingsstations van de staat te Gent, Deel XXX, nr. 1.
- PRINCE R.P. and WHEELER W.C.
1960 Response of broiler chicks to temperature and ventilation environments. Winter meeting American Society of Agricultural Engineers, Memphis, Tennessee. Paper nr. 60 - 926.
- RAUCH W.
1960 Versuche zur Beurteilung des Wasserhaushaltes von Legehennen. 1 Mitteilung Arch. f. Geflügelk. Jg. 24, 6.
- RECKNAGEL-SPRENGER
1966 Taschenbuch für Heizung, Lüftung und Klimatechnik. München. 54 Ausgabe, 675 - 959.
- RIST MICHAEL
1965 Freie Lüftung. Seminar Stallklima in Braunschweig - Völkenrode. Berichte über Stallklimafaktoren. ALB-Berichtsheft XXIV. 101 - 113.
- RUML M. und KUCA J.
1965 Luftmikroflora als Faktor für das Stallmilieu. Zusammenfassungen. Tschechoslowakische bioklimatologische Konferenz mit internationaler Teilnahme, BRNO. 313-315.
- SCARBOROUGH E.N.
1959 That old ammoniaproblem. Broiler growing. 32 - 34.
- SCHIFFEL E. und SCHMIDT C.
1959 Stallklimatische Rechnungsgrundlagen. Technische Hochschule Dresden. Institut für ländliches Bauwesen.
- SPLITTGERBER (overgenomen uit Borchert, 1961)
1960 Voraussetzungen einer wirtschaftlichen Junggeflügelmast. Deutsche Wirtschaftsgeflügelzucht, 12, März.
- STEINEGGER P.
1958 Winterlegeleistung und Jahresleistung. Schweiz. Geflügelzuchtschule Zollikofen - Bern. XXIII Jahresbericht, 12.
- STEWART R.E. and HINKLE CHARLES N.
1959 Environmental requirements for poultry shelter design. Agricultural engineering. Vol. 40, 532 - 535.
- TILLEY MICHAEL F.
1964 Climate in livestock buildings. E.D.A. Rural Electrification Conference, University of Nottingham, School of Agriculture, Sutton Bonington.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE

1965

Losses in agriculture. Agricultural research service.
United States Department of Agriculture. Washington
D.C., Agricultural handbook nr. 291, 72 - 84.

VERKINDEREN A.

1960

De commercialisatie van eieren. Mededelingen van de
landbouwhogeschool en de opzoekingsstations van de
staat te Gent. Deel XXXV, nr. 2, 658 - 733.

WILSON W.O. Mc NALLY E.H. OTA HAJIME

1957

Temperature and calorimeter study on hens in indivi-
dual cages. Poultry science. Vol. 36, nr. 6, 1254 -
1261.

WOLFERMANN HANS FRIEDRICH

1965

Probleme des Wärme- und Feuchtigkeitshaushaltes in
Rindvieh- Schweine- und Hühnerställen. ALB-Berichts-
heft XXIII.

WOLFERMANN H.F.

1965 B

Wärmeabgabe und Gasproduktion bei Rind, Schwein und
Huhn. Seminar Stallklima in Braunschweig-Völkenrode.
Berichte über Stallklimafaktoren. ALB-Berichtsheft
XXIV. 45 - 65.

G E R A A D P L E E G D E W E R K E N

- ASAE (American Society of Agricultural Engineers)
1965 Design of ventilation systems for poultry and live-stock shelters. Agricultural engineers' yearbook. 287 - 296.
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)
1965 and 1966 Air handling. Guide and data book. Fundamentals and equipment. Section V, 537 - 627.
- ASHBY, WALLACE
1945 Functional requirements in designing laying houses for poultry. USDA Cir. nr. 738.
- AUGSBURGER N.D.
1965 The aerodynamics of poultry house ventilation. Poultry digest. Vol. 24, nr. 285, 517 - 520.
- BAROTT H.G. and PRINGLE E.M.
1949 Effect of environment on growth and feed and water consumption of chickens. Journal of nutrition. Vol. 37, 353.
- BAROTT H.G. and PRINGLE E.M.
1951 Energy and gaseous metabolism of the hen as affected by temperature. Journal of nutrition. Vol. 22, 273 - 286.
- BAROTT H.G. and PRINGLE EMMA M.
1946 Energy and gaseous metabolism of the chicken from hatch to maturity as affected by temperature. J. nutrition. Vol. 31, nr. 1, 35 - 50.
- BAROTT H.G. and PRINGLE EMMA M.
1941 Energy and gaseous metabolism of the hen as affected by temperature. J. nutrition. Vol. 22, 273 - 286.
- BECHER P.
1955 Luftführung bei Lüftungsanlagen. Gesundheits-Ingenieur. Heft 17/18, 257 - 262.
- BIANCA W., BLAXTER K.L.
1961 The influence of the environment on animal production and health under housing conditions. Proc. Int. Congr. Anim. Husb. VIII, Hamburg.
- BRAG, D.D. and LUCKHAM, W.R.
1965 Comparative egg production costs of layers housed in conventional and controlled environment buildings. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. Vol. 8, nr. 4, 486 - 487 and 490.

- BULLIS K.L., SNOEYENBOS G.H. and VAN ROEKEL H.
1949 A keratoconjunctivitis in chickens. Massachusetts Agricultural Experiment Station, Amherst. Contribution nr. 746.
- CHARLES D.R., PAYNE C.G. and LAMMING G.E.
1963 Atmospheric ammonia and the performance of laying hens. University of Nottingham, School of Agriculture. Report.
- COMBERG G.
1964 Exigences générales de climat et d'hygiène des porcs reproducteurs et d'engraissement. Fédération Européenne de Zootechnie. nr. 1613/64.
- COMBERG G. und WOLFERMANN H.F.
1964 Der Kohlendioxyd-, Ammoniak- und Schwefelwasserstoffgehalt der Stallluft von Rinder- und Schweineställen mit Gitterrost und Spaltenboden. ALB-Bericht XXII. 19.
- COMBERG G. und WOLFERMANN H.F.
1966 Weitere Untersuchungen zur Frage schädlicher Gasgehalte in der Stallluft von Schweineställen mit Spaltenboden. Bauen auf dem Lande. nr. 17, 46.
- DOBIE JOHN B.
1964 Airborne dust in agricultural environments. Winter meeting American Society of Agricultural Engineers, New Orleans, Louisiana. Paper nr. 64 - 914.
- ESMAY MERLE L.
1960 Design analysis for poultry house ventilation. Agricultural engineering. Vol. 41. 576 - 578.
- FAIRFAX JOHN P.
1965 Application of the principles of material and energy balances to air-conditioning problems. ASHRAE journal. 84 - 86.
- FISCHER W.A.
1962 Mehr Eier und weniger Futter. Deutsche Geflügelwirtschaft. 215 - 217.
- GRIFFIN J.
1966 Housing affects condemnation rate. Poultry digest. Vol. 25, nr. 287, 40 - 41.
- GRUB W., ROLLO C.A. and HOWES J.R.
1964 Dust problems in poultry environments. Annual meeting American Society of Agricultural Engineers. Ft. Collins, Colorado. Paper nr. 64 - 435.
- HAARTSEN P.I.
1966 Gasvergiftiging in een rundveestal ten gevolge van het roeren in de mestopslagkelder. ILB Wageningen. Mededeling nr. 19.

- HAFERLAND Fr.
1965 Wärme- und Diffusionstechnische Probleme bei Aussenwänden. Berichte über Stallklimafaktoren. ALB-Berichtsheft XXIV. 139 - 170.
- HART S.A., WILSON W.O. and LERT P.J.
LTC housing for poultry, Unpublished. 26 blz.
- HEGEMAN J.H.
1965 Het luchtbewegingspatroon bij stalventilatie. Landbouwwmechanisatie. nr. 16.12.
- HUTCHINSON J.C.D.
1953 Evaporative cooling in fowls. Journal of agricultural science. 48 - 59.
- HUTTAR J.C., FAIRBANKS F.L. and BETSFORD H.E.
1933 Ventilation of poultry houses for laying and breeding hens. Cornell Ag. Exp. Sta. Bul. nr. 558.
- JULL M.A.
1951 Poultry husbandry. Mc Graw-Hill book Co, New York.
- KAUFFMAN
1951 The farm poultry flock. The Pennsylvania State College, Pennsylvania. Circular 394.
- KELLY C.F.
1961 Livestock. Basic agricultural data. Agricultural engineers' handbook, New York. Section IV, chapter 55, 771 - 787.
- MITCHELL H.H. and KELLEY M.A.R.
1933 Estimated data on the energy, gaseous and water metabolism of poultry for use in planning the ventilation of poultry houses. Journal of agricultural research, 47. 735 - 748.
- NOTESTINE J. CARROLL
1964 Dust problems in livestock environments. Annual meeting American Society of Agricultural Engineers. Ft. Collins, Colorado, Paper nr. 64 - 436.
- OBER J. und MITTRACH B.
1966 Verfahren zur Berechnung des Wärmehaushaltes von Ställen. Bauen auf dem Lande. Jahrgang 17, Heft 4, 90. - 94.
- OREL V.
1964 Probleme der Stallhaltung von Geflügel vom Standpunkt des Stallklimas. Probleme der intensiven Geflügelwirtschaft. Schriftenreihe des Institutes für Geflügelwirtschaft. Merbitz der VVB Tierzucht. Heft 4, 7 - 16

- OTA H. Mc NALLY E.H.
1961 Poultry respiration calorimetric studies of laying hens. US Department of Agriculture ARS 42 - 43.
- PAESLACK U.
1965 Wasserdampfabgabe von Rind, Schwein und Huhn. Seminar Stallklima in Braunschweig-Völkenrode. Berichte über Stallklimafaktoren. ALB-Berichtsheft XXIV, 25 - 43.
- PETERSEN C.F. and BLACK R.E.
1966 Environmental control in the North-West. Poultry digest. Vol. 25, nr. 288, 87 - 89.
- PETIT K.L. en DEBRUYCKERE M.
1963 Nomogrammen voor berekening van stalventilatie. Mededelingen van de landbouwhogeschool en de opzoekingsstations van de staat te Gent. Deel XXVIII, nr. 1.
- PETIT K.L. en DEBRUYCKERE M.
1965 Bijdrage tot de studie van de klimaatregeling in kippenhokken. Studie van de factoren die het uitdrogen van het bodemstrooisel beïnvloeden. Mededelingen van de landbouwhogeschool en de opzoekingsstations van de staat te Gent. Deel XXX, nr. 1.
- PETIT K.L. en NICOLAUS A.
1966 Het regelen van het microklimaat in stallen. De warmtetransmissie door buitenwanden. Faseverschuiving en amplitudedemping. Mededelingen van de landbouwhogeschool en de opzoekingsstations van de staat te Gent. Deel XXXI, nr. 2.
- RIST MICHAEL
1964 Der Einfluss der Temperaturverhältnisse und Druckunterschiede auf die Luftführung in Ställen. Berichte des VI Internationalen Kongresses für Technik in der Landwirtschaft; Lausanne 21 - 27 Sept. Band II, 484 - 494.
- ROLLER W.L.
1963 Dust creates problems in air conditioning. Agricultural engineering. 436 - 437.
- ROLLER WARREN L.
1964 Summary of needs for further study of effects of air contaminants on equipment and animal performance. Annual meeting American Society of Agricultural Engineers. Ft. Collins, Colorado. Paper nr. 64 - 440.
- ROMIJN C.
1946 Klimaat en pluimvee. Tijdschrift voor diergeneeskunde. Deel 71, aflevering 18, 6 blz.

- ROMIJN C. en LOHHORST W.
1963 Enkele aspecten van de stofwisseling bij pluimvee.
Tijdschrift voor diergeneeskunde . Aflevering 23,
deel 88.
- RIJDBERG JOHN
1963 Lufteinblasung durch perforierte Decken. Gesundheits-
Ingenieur. Heft 2, 33 - 38.
- SMITH C.V.
1964 The rating of ventilation systems for animal houses.
Agricultural meteorology, Volume 1, number 2, 107 -
120.
- SPRENGER E.
1951 Luftverteilung bei Lüftungs- und Klimaanlageanlagen.
Gesundheits-Ingenieur. Heft 10, 157 - 162.
- SPRENGER E.
1956 Begriffe in der Lüftungs- und Klimatechnik und ihre
Bedeutung. Gesundheits-Ingenieur. Heft 19/20, 305 - 307.
- STIETENROTH KARL
1934 Hygienische und wärmewirtschaftliche Forderungen
beim Stallbau und Stallbetrieb.
Landwirtschaftliche Jahrbücher 79, 613 - 683.
- STIETENROTH K. und BRANDT J.
1964 Wärmetechnische Anforderungen an die raumumschlies-
senden Bauteile von Rindvieh-, Schweine- und Hühner-
ställen. ALB-Berichtsheft XXII. 3 - 8.
- STRAUB H.E.
1963 Room air distribution - I Heating, air conditioning,
ventilation, insulation. London W.C. I. Vol. 25, nr.
212, 255 - 259.
- STRAUB H.E.
1963 Room air distribution - II Heating, air conditioning,
ventilation, insulation. London W.C. I, Vol. 25, nr.
213, 294 - 297.
- TOL J.C.
1966 Luchtinlaten en luchtgeleiders bij mechanische venti-
latie in stallen. ILB Wageningen. Publikatie n° 28.
- VEJMOLA J.
1964 Methodik der Bestimmung von technischen Grundlagen
für die Klimatisierung eines Hühnerstalles. Probleme
der intensiven Geflügelwirtschaft. Schriftenreihe des
Institutes für Geflügelwirtschaft Merbitz der VVB
Tierzucht. Heft 4, 31 - 54.
- WILSON W.O. and EDWARDS W.H.
1953 Interaction of humidity and temperature as affecting
comfort of white Leghorn hens. Poultry sci. September.